

Ј. И. ПЕРЕЉМАН

ЗАНИМЉИВА ФИЗИКА

ПАРАДОКСИ, ЗАГОНЕТКЕ, ЗАДАЦИ,
ОГЛЕДИ, ЗАМРШЕНА ПИТАЊА И
ПРИЧЕ ИЗ ОБЛАСТИ ФИЗИКЕ

Књига друга

Превео: Живко Костић
Коректор: Н. Прусића
Насловна страна: Јанко Крајшек

ТЕХНИЧКА КЊИГА
ИЗДАВАЧКО ПРЕДУЗЕЋЕ НАРОДНЕ ТЕХНИКЕ
БЕОГРАД 1949

НАПОМЕНА

Ову књигу написао је познати педагог и популаризатор, и она садржи, као што је у наслову назначено, »парадоксе, загонетке, задатке, огледе, замршена питања и приче из области физике«. Књига је, по начину излагања и по обиму знања која се претпостављају код читаоца, предвиђена за ученике средњих школа и за оне који раде на самообразовању у томе истом обиму.

Штампарски завод »Огњен Прица«, Загреб

ПРЕДГОВОР ТРИНАЕСТОМ ИЗДАЊУ

Ова књига претставља самосталну збирку, која се не појављује као непосредно продолжење прве књиге »Занимљиве физике«.¹

Успех прве књиге побудио је аутора да обради и остали материјал који је сакупио, и тако је постала ова друга, или, тачније, нова књига, која обухвата иста поглавља физике.

У овој књизи, као и у првој, писац настоји не толико да изнесе нова знања, колико да оживи и освежи она елементарна знања из физике која читалац већ има. Циљ књиге је да научну уобразиљу побуди на рад, да читаоца научи да мисли у духу физике и да га навикне на разноврсну примену својих знања. Због тога се у »Занимљивој физици« придаје описивању ефектних експеримената другостепено место; у први план издавају се физичке загонетке, интересантни задаци, поучни парадокси, замршена питања, неочекивана упоређења из области физичких појава итд. Такав материјал писац тражи у кругу појава свакодневног живота, у области технике, у природи, на страницама научно-фантастичних романа, — једном речи: у свему што се налази изван граница уџбеника и физичког кабинета, а што је у стању да привуче пажњу читаоца који је жељан знања, као што је то наш совјетски читалац.

Намењујући књигу за читање, а не за изучавање, писац се трудио, колико је умeo, да излагањима даде и за-

¹ Прва књига Перељманове »Занимљиве физике« изашла је у преводу у издању »Техничке књиге«, Београд, 1949. — Прим. изд.

нимљиву форму, полазећи од тога да интересовање за предмет повећава пажњу, појачава рад мисли и, према томе, више помаже свесном разумевању.

Ради оживљавања интересовања за рачунања у области физике, у неке чланке ове збирке унесен је рачунски материјал (што се у првој књизи скоро није чинило).

Уопште, ова је збирка, по избору материјала, намењена читаоцу који је донекле боље припремљен него што то изискује прва књига »Занимљиве физике«, али је разлика у том погледу између обе књиге тако мала да се оне могу читати било којим редом и независно једна од друге.

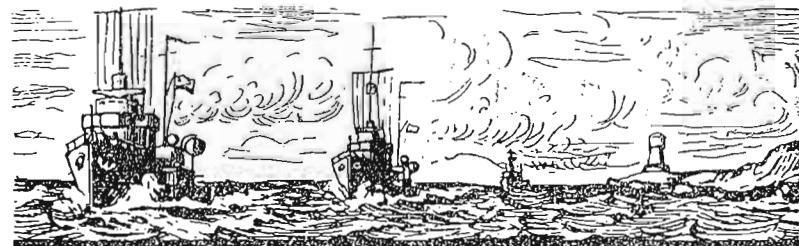
За ово издање, унесен је у књигу низ нових чланака и слика. Додат је списак књига које се препоручују за даље читање.

Трећа књига »Занимљиве физике« не постоји. Уместо ње аутор је написао следеће књиге:

»Занимљива механика«, »Да ли знате физику?« и, поред њих, посебну књигу посвећену питањима из астрономије: »Занимљива астрономија«.²

Ј. Перељман

² Изашла у новом издању 1946 г. (Гостехиздат).



ГЛАВА ПРВА

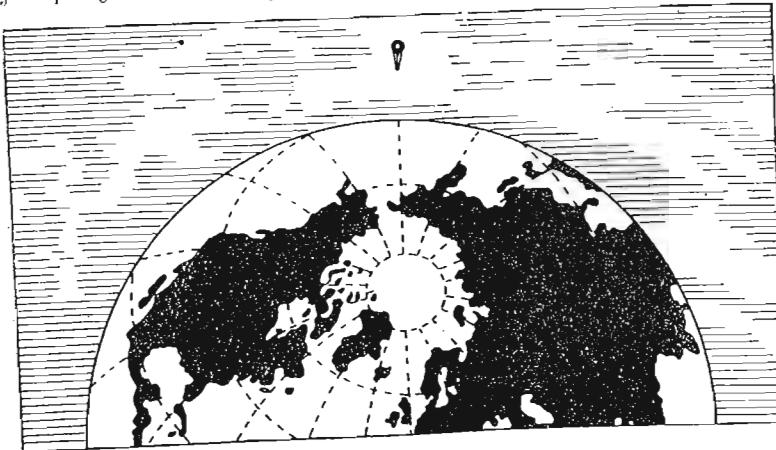
ОСНОВНИ ЗАКОНИ МЕХАНИКЕ

Најјефтинији начин да се путује

Духовити француски писац XVII века Сирено де Бержерак, у својој сатиричној »Историји држава на Месецу« (1652 г.), прича, између осталог, о чудном случају који му се тобоже десио. Бавећи се физичким експериментима, он се једнога дана на недокучив начин дигао високо у ваздух, заједно са својим бочицама. Када је после неколико часова успео да се поново спусти на Земљу, нашао се, на своје запрепашћење, не више у својој Француској, па ни у Европи, него на тлу Северне Америке, у Канади! Свој неочекивани лет преко Атланског Океана француски писац сматра ипак потпуно природним. Он га објашњава тиме што је наша планета продужила да се и даље окреће на исток за време док је путник био одвојен од земљине површине; зато је под његовим ногама, када се спустио, уместо Француске било тле Америке.

Рекло би се: какав јефтин и прост начин да се путује! Довољно се само дигнути изнад Земље и задржати се у ваздуху макар неколико минута, да би се спустили већ на потпуно другом месту, далеко на западу. Уместо да се предузимљу заморна путовања преко континената и

океана, може се непокретно лебдити изнад Земље и сачекати да она сама подметне испод путника место у које је кренуо.



Сл. 1. Може ли се из балона видети како се окреће земаљска кугла?
(Размер на слици није правilan.)

Нажалост, тај ванредни начин путовања само је фантазија. Прво, када се дигнемо у ваздух, ми се у ствари остаемо тиме још не одвајамо од земаљске кугле: ми вегани са њеним гасовитим омотачем, лебдимо у њеној атмосфери, која такође учествује у земљином окретању око осовине. Ваздух — стварно, његови доњи гушћи слојеви — окреће се заједно са Земљом, носећи са собом све што се у њему налази, облаке, аероплане, све птице које лете, инсекте итд. Кад ваздух не би учествовао у окретању земљине кугле, ми бисмо, стојећи на Земљи, стално осећали најјачи ветар, према коме би најстрашнији ураган изгледао као нежни лахор.³ Потпуно је свеједно да ли стојимо у месту, а ваздух се креће поред нас, или је, обрнут, ваздух непокретан а ми се крећемо у њему. У оба случаја осећамо једнако снажан ветар. Аутомобилист

³ Брзина урагана — 40 м у секунди — 144 км на сат. А земаљна кугла би нас, рецимо на географској ширини Лењинграда, носила кроз ваздух брзином од 230 м у секунди, или 828 км на сат.

који се креће брзином од стотину километара на сат, осећа веома јак ветар који му дува у лице чак и при потпуно тихом времену.

То је прво. А друго, ако бисмо чак и могли да се дигнемо у више слојеве атмосфере, или ако Земља уопште не би била обавијена ваздухом, не би нам ни тада пошло за руком да се користимо тим јефтиним начином путовања о коме је фантазирао француски сатиричар. Уствари: дижући се са површине Земље која се окреће, ми по инерцији продужујемо да се крећемо ранијом брзином, тј. оном којом се креће Земља испод нас. И када се поново спустимо доле, нађемо се на оном истом месту са кога смо се раније дигли, као што у вагону воза који се креће, када потскочимо увис, падамо поново на место са кога смо потскочили. Истина, ми ћемо се услед инерције кретати праволиниски (по тангенти), а Земља испод нас по луку, али у мањим временским размацима то ствар не мења.

»Земљо, заустави се!«

Познати енглески писац Херберт Уелс написао је фантастичну причу о томе како је неки књиговођа био чудотворац. Неки веома ограничен млад човек био је, вољом судбине, обдарен необичном способношћу: било је дољно да изрази ма какву жељу, — и она се одмах испуњавала. Ипак, ова примамљива обдареност, као што се показало, није донела ни њему ни другим људима ничег осим непријатности. За нас је поучан крај те приповести.

После једне ноћне пијанке која се отегла, књиговођа чудотворац, бојећи се да се код куће појави у зору, написли да се послужи својом способношћу да би продужио ноћ. Како да се то уради? Треба наредити небеским телима да зауставе своје кретање. Књиговођа се није одмах одлучио на тако необичан подвиг, и када му је пријатељ саветовао да заустави Месец, он пажљиво погледа на Месец и рече колебајући се:

»— Мени се чини да је он за то исуваше далеко... Шта ви мислите?

— А зашто не бисте покушали? — инсистирао је Мејдиг (тако се звао пријатељ. — Ј. П.). — Он се, наравно, неће зауставити, ви ћете само прекинути даље Земљино окретање. Надам се да то неће бити ни за кога од штете!

— Хм, — рече Фотерингеј (књиговођа, — Ј. П.). — Добро, покушаћу. Но...

Он заузе заповедничку позу, диже руку над земљином куглом и свечано изговори:

— Земљо, заустави се! Престани да се окрећеш!

Није стигао ни да заврши те речи, а пријатељи су већ летели кроз простор брзином од неколико тутета миља у минути.

Али, и поред тога, он је продужио да мисли. За мање од секунде успео је и да помисли и да у себи изрекне следећу жељу:

— Ма шта да се деси, нека останем жив и здрав.

Ваља признати да је та жеља била изречена на време. Још неколико секунда, — и пао је на неку свеже узорану земљу, а око њега је, не наносећи му никаквих озледа, летело камење, рушевине зграда, метални предмети разне врсте; међу њима је летела и нека несрећна крава, која се сва разбила при ударцу о земљу. Ветар је дувао страшном снагом. Он није могао чак ни да подигне главу, да би се обазрео око себе.

— Несхватљиво, — ускликну он испрекиданим гласом. — Шта се догодило? Бура, шта ли? Мора бити да сам учјини нешто што не ваља.

Обазревши се, уколико му је то допуштао ветар и капут који је на ветру лепршао, он продужи:

— На небу је, изгледа, све у реду. Ево и Месеца. Да, а све остало... Где је град? Где су куће и улице? Откуда ветар? Нисам наредио да буде ветар.

Фотерингеј је покушао да устане на ноге, али то је било немогућно и због тога се кретао напред четвороножке, држећи се за камење и избочине на земљишту. Уосталом, није имало куд да се иде, јер је наоколо, колико је могао да види испод крајева од капута које је ветар пребацио преко главе чудотворца, било све само слика разарања.

»Нешто се у васиони озбиљно покварило, — помисли он, — а шта то — не знам.«

Заиста се покварило. Ни кућа, ни дрвећа, никаквих живих бића — ништа се није видело. Само су се безобличне развалине и разноврсне рушевине ваљале уоколо, назирући се једва усред урагана од прашине.

Кривац за све то није схватао, наравно, у чему је ствар. А све се, међутим, објашњавало врло просто. Зауставивши нагло Земљу, Фотерингеј није помислио на инерцију, док је она, међутим, морала неминовно, при наглом заустављању кружног кретања, зbrisati са Земљине површине све што се на њој налазило. Ето зашто је све, — куће, људи, дрвеће, животиње — уопште све што није било нераздвојиво везано са главном масом земљине кугле, полетело брзином метка по тангенти повученој на земљину површину. А затим је све то поново падало на Земљу, разбијајући се у парампарчад.

Фотерингеј је разумео да чудо које је учинио није било нарочито срећно. И тада је њиме овладала дубока одвратност према свима чудима, и он се зарече да их више неће чинити. Али се пре тога морала поправити несрећа коју је учинио. Показало се да та несрећа није била мала. Бура је беснела, облаци прашине су покрили Месец, а из даљине је допирала хука воде која се приближавала. Фотерингеј је чак видео, при светlostи муње, читав водени зид који се страшном брзином кретао према месту на коме је он лежао.

Он постаде одлучан.

— Стој! — узвикну обраћајући се води. — Ни корака даље! — А затим попови исто наређење грому, муњи и ветру.

Све се утиша.

Он чучну и замисли се.

»Да не направим опет какав хаос, — помисли, и онда рече: »Прво, када се испуни све што ћу сада да наредим, нека изгубим способност да чиним чуда и нека будем исти као и обични људи. Чуда нису потребна. То је исувише опасна играчка. А друго, нека све буде као и радије: исти град, исти људи, исте куће, а и ја исти какав сам пре био.«

Писмо са авиона

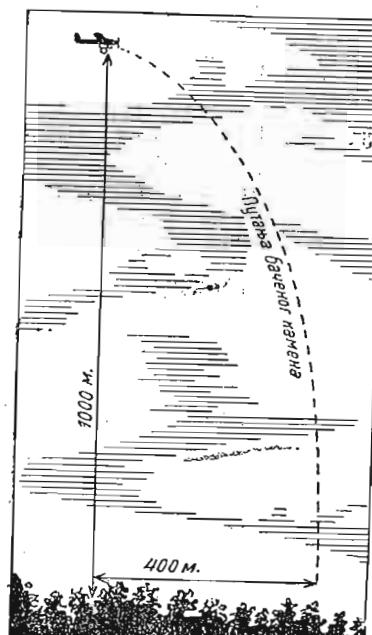
Замислите да се налазите на авionу који брзо лети изнад земље. Доле — позната места. Сад ћете прелетети изнад куће у којој живи ваш пријатељ. »Било би добро да му пошаљем поздрав«, — паде вам на памет. Напишете брзо неколико речи на листићу из бележнице, привежете камен на писмо, сачекате тренутак када се кућа појави баш испод вас, и писмо с каменом испустите из рuke.

Ви сте, наравно, потпуно уверени да ће камен пасти у врт поред куће. Ипак, он неће тамо пасти, ма да су се врт и кућа налазили управо испод вас.

Пратећи из авиона његово падање, ви бисте видели чудну појаву: камен пада доле, али у исто време остаје

и даље испод авиона, као да се спушта на невидљивој нити привезаној за авion. И када камен буде пао на земљу, он ће се налазити далеко испред онога места које сте ви имали у виду.

Овде се појављује онај исти закон инерције који онемогућује да се путује по саблажњивом савету Берже-рака. Док је камен био у авionу, кретао се заједно са авionom. Избацили сте га — али одвојивши се од авiona и падајући доле, камен не губи своју првобитну брзину, него и при падању задржава и даље кретање кроз ваздух у ранијем правцу. Оба та кретања, вертикално и хоризонтално, сабиру се, — а резултат је да камен лети доле по кривој линији, остајући стално испод авиона.



Сл. 2. Камен, бачен из авиона који лети, не пада вертикално, него по кривој линији

она (ако, наравно, сам авion не промени правац или брzinu лета). Камен лети, у суштини, исто као што лети хоризонтално бачено тело, — на пример метак избачен из хоризонтално намештене пушке: тело описује лучни пут који коначно додирује земљу.

Приметимо да би све што је овде речено било потпуно тачно — кад не би било отпора ваздуха. Уствари, тај отпор кочи и вертикално и хоризонтално кретање камена, због чега камен не остаје све време право испод авiona, него унеколико изостаје иза њега.

Удаљавање од вертикалне линије може бити веома приметно, ако авion лети високо и са великим брзином. Кад нема ветра, камен избачен из авiona, који лети на висини од 1000 м и брзином од 100 km на sat, пада 400 m испред места које се налазило вертикално испод авiona (сл. 2).

Рачун (ако се занемари отпор ваздуха) није компликован. Са висине од 1000 m камен мора да пада у току

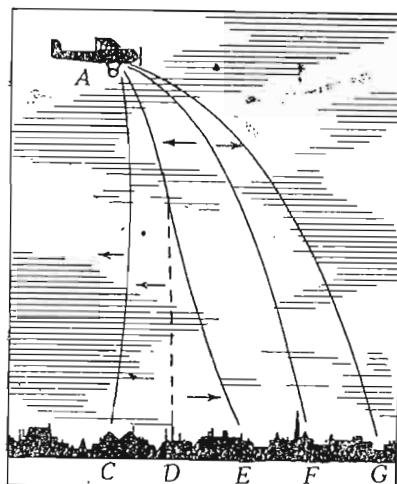
$$\sqrt{\frac{2 \times 1000}{9.8}}, \text{ tj. } 14 \text{ секунди.}$$

За то време ће он успети да пређе у хоризонталном правцу $\frac{100.000}{3.600} \times 14 = 390 \text{ m.}$

Бомбардовање

После овога што је речено постаје јасно како је тежак задатак војног ваздухопловца, који мора да баци бомбу на одређено место: он мора да узме у рачун и брзину авиона, и услове падања тешкога тела у ваздуху и, поред тога, још брзину ветра. На сл. 3 су шематски показани разни путеви које описује бачена бомба, под разним условима. Ако нема ветра, бачена бомба лети по кривој линији *AF*; зашто тако — објаснили смо тоге. При ветру који дува у правцу кретања авиона, бомба се креће више напред по кривој *AG*. При ветру који дува наспрот кретању авиона са умереном јачином, бомба пада по кривој *AD*, ако је ветар и горе и доле исти. А ако ветар има, као што

често бива, у доњим пределима правац супротан горњем ветру (тј. горе има правац супротан правцу кретања авиона, а доле правац исти са кретањем авиона), онда се крива линија падања бомбе мења и добија облик линије AE . Нешто друкчије изгледа бацање бомбе са такозваних пикирајућих бомбардера. Ти авиони не бацају бомбе из хоризонталног лета, него из положаја »пикирања« на циљ: авион »пада« на циљ под углом који је веома близу правога угла. То омогућује авијатичару да гађа у правцу падања авиона. Поред тога, бомбе се, на излазу из пикирања, избацују са мање висине. Све то повећава тачност бомбардовања.



Сл. 3. Пут по коме падају бомбе бачене из авиона: AF — у време без ветра; AG — при ветру истог правца са авионом; AD — при ветру супротног правца; AE — при ветру супротног правца горе, а истог доле

Железница која се не зауставља

Када стојите на непокретном перону железничке станице поред кога пролази брзи воз, тешко је, наравно, ускочити у вагон који се креће. Али замислите да се и перон испод вас такође креће, и то истом брзином и у истом правцу као и воз. Да ли ће вам тада бити тешко да уђете у вагон?

Нимало: уђи ћете тако мирно као кад би вагон стајао непокретно. Ако се и ви и воз крећете у истом правцу једнаком брзином, онда се у односу на вас воз налази у потпуном мирувању. Истина, његови се точкови окрећу, али ће се вама чинити да се они

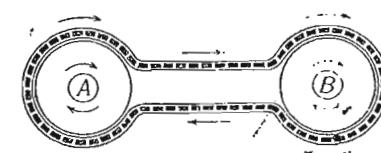
врте у месту. Строго говорећи, сви предмети које ми обично сматрамо непокретним, — на пример, воз који стоји у станици, — крећу се заједно с нама око Земљине осовине и око Сунца; ипак, ми то кретање практично николико не узимајемо у обзир и оно нам нимало не смета.

Према томе, може се потпуно замислiti такав уређај да воз, пролазећи кроз станицу, прима и искрцава путнике у пуном кретању, без задржавања.

Уређаји такве врсте често се изграђују на изложбама, да би публика имала могућности да брзо и удобно пре-гледа знаменитости изложбе, размештене на великом простору.

Крајње тачке земљишта на коме се налази изложба повезане су железничком пругом као бескрајном врпци: путници могу у сваком тренутку и на сваком месту да улазе у вагоне и да излазе из њих у пуном кретању воза.

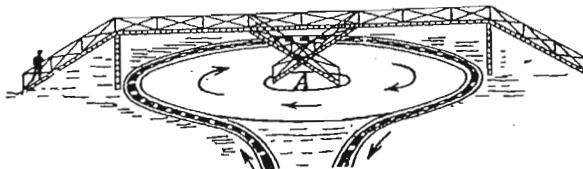
Тај интересантни уређај показан је на приложеним цртежима. На сл. 4 означене су крајње станице словима A и B . На свакој се станици налази округло непокретно место, окружено великим прстенастим диском који се окреће. Око оба диска, на обема станицама, обилази челично уже за које су везани вагони. Погледајте сада шта се догађа при окретању диска. Вагони се крећу око оба диска истом брзином којом се окреће њихова периферија. Према томе, путници могу без икакве опасности да прелазе са диска у вагоне, или обратно: да излазе из воза. Путник, пошто изађе из вагона, иде по диску према центру круга, док не дође до непокретног простора; а прећи са унутрашњег краја покретнога диска на непокретни простор, није тешко, јер је ту, с обзиром на мали радиус круга, и кружна брзина веома мала.⁴



Сл. 4. Схема устројства железнице која се не зауставља на станицама A и B . Устројство станице је показано на следећој слици

⁴ Лако је разумети да се тачке унутрашњег краја диска крећу знатно лаганије него тачке на периферији, јер оне у истом времену описују знатно мањи кружни пут.

А када стигне на унутрашњи непокретни простор, путник има само да пређе по мостићу на земљу с друге стране железничке пруге (сл. 5).



Сл. 5. Железничка станица на којој се воз не зауставља.

Отсуство честих заустављања даје огромну уштеду у времену и утрошку енергије. У градским трамвајима, на пример, већи део времена, и скоро две трећине целе енергије, троши се на постепено убрзавање кретања при по-ласку са станице и на успоравање при заустављањима.⁵

На железничким станицама може се чак проћи и без нарочитих покретних перона да би се примали и искрцавали путници при пуном кретању воза. Замислите да кроз обичну непокретну станицу пролази брзи воз. Ми желимо да сн ту прими нове путнике, а да се не зауставља. Нека ти путници заузму места у другом возу, који се налази на паралелном резервном колосеку, и нека се тај воз креће напред, развијајући исту брзину као и брзи. Када се један воза нађу један поред другог, они ће бити непокретни један у односу на другог: дољно је спустити мостиће који би везали вагоне оба воза, и путници би из помоћног воза могли мирно прећи у брзи воз. Заустављања на станицама постају, као што видите, излишна.

»Тако је у теорији. Остварење тога пројекта је у практици, вероватно, врло тешко; због тога слични уређаји још никада нису изграђени«, — писао сам у ранијим издањима »Занимљиве физике«. Али, од 1924. г. могао сам већ да додам да је речени пројекат остварен у Америци, и

⁵ Губитак енергије на кочење може бити избегнут ако се при кочењу прикључе електромотори, тако да раде као динамо-машине, враћајући струју у мрежу. У Шарлотенбургу (предграђе Берлина) успело је да се, захваљујући томе, снизи утрошак енергије за 30%.

то баш у оном виду у коме је горе изложен: на железничким станицама изграђује се паралелни колосек, дугачак 1—2 км, по коме се крећу трамвајски вагони, који примају путнике из брзога воза и са којих путници улазе у тај воз при кретању пуном брзином. Оно што је 1922. г. било само предмет за размишљање, то се 1924. г. већ претворило у живот. Поучна чињеница за оне који су склони да у научним фантазијама виде само бесплодну игру ума...

Овоме пројекту сличан је и други, који се појавио 1936. г. у САД: пројекат надземног пута од две платформе, које се налазе једна поред друге и крећу се различитим брзинама. »Прва се платформа креће, — јављало се у новинама, — брzinom до 20 km на sat, и сваке минуте зауставља се тачно за 10 секунди. Њено кретање усклађено је са кретањем друге платформе, која представља прави воз са седиштима. Тај се воз-платформа креће брzinom од 26 km на sat, али с временом на време успорава кретање и иде истом брзином којом и прва платформа. Када се брзина кретања обе платформе подудари, путници могу да пређу са покретне платформе на платформу-воз, која затим убрзава своје кретање.«

Улице будућности

На релативном кретању заснива се и један други уређај, који се досад примењивао само на изложбама: то су такозвани »покретни тротоари«. Они су први пут били остварени на изложби у Чикагу 1893. г., а затим на Париској светској изложби 1900-те године.

Доносимо цртеж таквог уређаја (сл. 6). Види се пет затворених трака-тротоара, које се помоћу нарочитог механизма крећу различитим брзинама. Крајња се трака креће прилично полако, брзином од свега 5 km на sat; то је обична брзина пешака и није тешко, разуме се, ступити на траку која се тако полако помиче. Поред ње, са унутрашње стране, креће се друга трака брзином од 10 km на sat. Било би опасно скочити на њу непосредно са непокретне улице, али прећи на њу са прве траке није ни-

мало тешко. Уствари, у односу на прву траку, која се помиче брзином од 5 км на сат, друга трака, која јури брзином од 10 км, чини свега 5 км на сат, што значи да је прелаз са прве траке на другу исто тако лак као и са земље на прву траку. Трећа трака креће се већ брзином од 15 км, али прећи на њу са друге траке, наравно, није тешко. Исто је тако лако прећи са треће траке на следећу, четврту, која јури брзином од 20 км, и, коначно, са ње на пету, која већ јури брзином од 25 км на сат. Ова пета трака пребадује путника до места на које жели да стигне. А одатле, прелазећи постепено обрнутим редом са траке на траку, он силази на непокретну земљу.



Сл. 6. Покретни тротоари

Између осталог, томе слична стално покретна улица—воз пројектује се у Њу-Јорку у подземном тунелу. Циљ — да се избегне претерано сакупљање путника на станицама — биће потпуно постигнут, јер ће се моћи сести у воз на било којем месту пута, не чекајући да воз стане.

Спречавање катастрофа

Као још један интересантан пример искоришћења релативног кретања може послужити уређај који је недавно патентиран на Западу, помоћу кога ће се, како се проналазач нада, спречити судари аутомобила са возовима на местима на којима друм пресеца железничку пругу. На местима на којима пруга пресеца друм, изграђује се

на нарочити начин прилазни део друма, тако да се његов горњи строј са приближавањем воза почиње да креће аутоматски назад на вальцима, слично бескрајном каишу. Брзина кретања горњег строја друма премашује највећу брзину аутомобила. Због тога ће аутомобил, који се нађе на таквом покретном друму, бити понесен назад, ма како велика била брзина аутомобила. Понте воз прође, тај део друма престаје да се креће и аутомобил без сметње пре лази преко пруге.

Недокучиви закон

Ниједан од три основна закона механике не изазива, вероватно, такве недоумице као чувени »трети Њутнов закон« — закон дејства и противдејства. Сви га знају, умеју чак и да га у неким случајевима правилно примењују, — а ипак, мало је оних којима у њему није понешто нејасно. Можда је вама, читаоче, успело да га одмах схватите, — али ја сам га, признајем, потпуно разумео тек десетак година после свог првог сусрета с њим.

Разговарајући са разним лицима, ја сам се не један пут уверио да је већина спремна да призна исправност тога закона само са битним приговорима. Радо се допуњића да је он тачан за непокретна тела, али се не схвата како се тај закон може применити на узајамно дејство тела у кретању... Дејство је, — гласи закон, — увек равно и супротно противдејству. То значи: ако коњ вуче кола, и кола вуку коња назад истом снагом. Али тада би кола морала остati на месту: зашто се она ипак крећу? Зашто се те сile не држе у равнотежи, ако су међу собом једнаке?

Такве обично недоумице прате овај закон. Закон је, дакле, нетачан? Не, он је апсолутно тачан; ми га само неправилно схватамо. Сile не држе у равнотежи једна другу просто због тога што делују на разна тела: једна на кола, друга — на коња. Сile су једнаке. Да, — али, зар једнаке сile увек производе једнака дејства? Зар

једнаке силе дају свима телима једнака убрзања? Зар дејство сила на тело не зависи од тела, од величине оног »отпора« који само тело пружа сили?

Размотримо овај парадокс са квантитативне стране. Сила која делује на цели систем »коњ и кола«, то је она сила f са којом се коњ одупире о земљу. По другом Њутновом закону, сила је равна маси помноженој са убрзањем; према томе: $f = (m_1 + m_2) a$, где је m_1 — маса коња, m_2 — маса кола, a — опште убрзање и једног и другог. Према томе, сила f се састоји од две компоненте:

$$f = m_1 a + m_2 a.$$

Овде је $m_1 a$ онај део силе који даје убрзање коњу, $m_2 a$ део који даје убрзање колима. Према томе, сила која вуче, а која делује на кола, није једнака целој сили f , него само њеном делу $m_2 a$. По закону једнакости дејства и противдејства, иста таква сила делује и обрнуто од стране кола на коња. Одавде произлази да на коња остаје део силе

$$f - m_2 a = m_1 a$$

који и даје убрзање коњу, без обзира на противдејство од стране кола.

Све би се то боље схватало и изазивало би мање неспоразума ако се тај закон не би изражавао у обичном кратком облику: »дејство је равно противдејству«, него, на пример, овако: »сила која противделује равна је сили која делује«. Уствари, једнаке су ту само сили, — а дејства (ако се под »дејством силе« разуме, као што се обично подразумева, кретање тела) обично нису једнака, јер силе делују на разна тела.

Када је поларни лед притискивао труп »Чељускина«, његова су ребра једнаком силом вршила притисак на лед. До катастрофе је дошло због тога што се снажни лед показао способним да издржи такав напор а да се не изломи, док је труп лађе, као ћупље тело, ма да је био од челика, попустио под том силом и био је згњечен и здробљен. (Детаљније су физички узроци катастрофе »Чељускина« изложени даље у посебном чланку, на стр. 48).

И падање тела се, наравно, потчињава закону противдејства, иако се одмах не примећују обадве силе. Али,

све ће постати јасно ако се сетимо да је падање уствари кретање под силом привлачења. Сила привлачења је сила узајамног дејства тела и земље. Дакле, на тело и земљу делују једнаке силе, али супротног правца. Одатле је јасно да јабука пада на земљу због тога што је привлачи земљина кугла: али тачно са истом тајвом снагом и јабука привлачи себи на шу планету. Строго говорећи, јабука и земља падају једна на другу, али је брзина тога парадња различна за јабуку и за земљу. Једнаке силе узајамног привлачења дају јабуци убрзање од 10 м, а земљиној кугли — толико пута мање колико је пута земљина маса већа од масе јабуке. Наравно, земљина маса је огромни број пута већа од масе јабуке, и због тога земља добија тако ништавно померање да се оно практично може сматрати равним нули. Због тога и кажемо да јабука пада на земљу, уместо да кажемо: јабука и земља падају једна на другу.⁶

Зашто је погинуо вitez Свјатогор?

Сећате ли се народне песме о витезу Свјатогору, који је наумио да подигне Земљу? Архимед је, ако треба вे-ровати предању, био такође спреман да изврши такав подвиг, и тражио је тачку ослонца за своју полуту. Али је Свјатогор био моћан и без полуге. Он је тражио само нешто за што би се ухватио, на шта би ставио своје јуначке руке. »Кад бих се за нешто ухватио, целу бих Земљу подигао«. Прилика му се указала: витез је нашао на Земљи »торбу упртњачу« »коју нећеш ни помаћи, ни згужвати, ни дигнути«.

Сиђе Свјатогор с добра коња,
Ухвати торбу обема рукама,
Подиже торбу повише колена:
И до колена Свјатогор у земљу упаде,
А по белом лицу му потече крв, а не сузе.
Где Свјатогор у земљу упаде, више се из ње не диже.
Ту Свјатогор и погибе.

⁶ О закону противдејства, види такође моју »Занимљиву механику« (Гл. 1).

Да је Свјатогор знао закон дејства и противдејства, он би схватио да ће његова јуначка снага, која делује на Земљу када се он опире ногама о њу, изазвати једнаку, а према томе исто тако велику противделујућу силу, која и њега самог може увући у земљу.

У сваком случају, из песме се види да је народна моћ опажања одавно приметила противдејство земље када се човек на њу опире. Људи су несвесно примењивали закон противдејства хиљадама година пре него што га је Њутн објавио први пут у својој бесмртној књизи »Математичке основе природне филозофије« (тј. физике).

Може ли се кретати без ослонца?

При ходу, ми се опирено ногама о земљу или о под; по веома глатком поду или по леду, о што се нога не може да опире, не може се ни ходати. Локомотива се при кретању одупира »водећим« точковима о пругу: ако се пруга намаже уљем, локомотива ће остати на месту. Понекад (на поледици), да би воз кренуо с места, точкови локомотиве посипају се песком помоћу нарочитог уређаја. Када су се (у првим данима железнице) точкови и пруга правили на зупце, то је баш и рађено стога што су се точкови морали да одупирају о трачнице. Пароброд се одупира о воду краковима пропелера. Авион се одупира о ваздух такође помоћу пропелера. Једном речи, ма у каквој средини да се предмет креће, он се при своме кретању о њу одупира. А да ли тело може почети да се креће ако нема никаквог ослонца?

Рекло би се да је настојање да се оствари такво кретање исто што и покушавање да човек самога себе дигне за косу. Као што је познато, такав је покушај до сада успео само барону Минхаузену. Међутим, баш се такво, наизглед немогућно, кретање често дешава пред нашим очима. Истина, тело не може себе у целини ставити у кретање само својим унутрашњим снагама, али оно може приморати известан део своје материје да се креће на једну страну, а остали део на супротну страну. Колико сте пута видели ракету како лети; а да ли сте се

замислили над питањем: зашто она лети? У ракети имамо очигледан пример баш те врсте кретања која нас сада интересује.

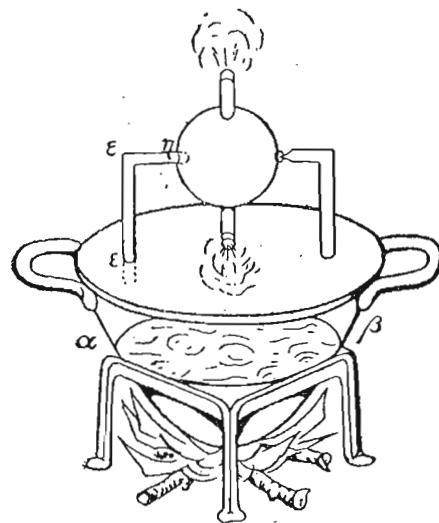
Зашто полеће ракета?

Често се дешава да се чак и међу људима који уче физику чује потпуно наопако објашњење лета ракете: она лети, наводно, због тога што се својим гасовима, који се образују при изгарању барута у њој, одупира о ваздух. Тако су мислили у старо време (ракете су стари иронијац), и то мишљење многи и сада деле. Ипак, ако би се ракета пустила у безвоздушном простору, она не би ништа горе полетела него у ваздуху; полетела би чак и боље. Прави разлог кретања ракете је сасвим други. Тај је разлог изложио веома разумљиво и просто првомартовски револуционар Кубаљчић у своме реферату, поднесеном нешто пре своје смрти, о летећој машини коју је он пронашао. Објашњавајући конструкцију убојничких ракета, он је писао:

»У цилиндар од плеха, затворен с једне стране и отворен с друге, ставља се цилиндар од пресованог барута, који дуж осовине има шупљину у виду капала. Горење барута отпочиње на површини тога канала и распостире се, у току одређеног временског размака, по спољној површини пресованог барута; гасови који се остављају при горењу врше притисак у свима правцима; али, бочни притисци гасова одржавају узајамно равнотежу, док притисак на дно лименог омотача не држи равнотежу са супротним притиском (јер на ту страну гасови имају слободан излаз), те стога одбацује ракету напред у оном правцу у коме је она била постављена пре запаљивања.«

Овде се дешава исто што и при пуцању из топа: граната лети напред, а сам се топ одбацује назад. Сетите се одбацања пушке и уопште сваког ватреног оружја! Кад би топ лебдео у ваздуху, не опирући се ни на што, он би се после пуцња кретао назад извесном брзином, која би била онолико пута мања од брзине гранате колико је пута граната лакша од самога топа. У фанта-

стичном роману Жила Верна »Дар-мар« Американци су намислили да се послуже одбојном снагом циновског топа да би остварили грандиозну замисао — »исправљање земљине осовине«.



Сл. 7. Најстарија парна машина (турбина), која се приписује Херону Александријском (II век пре наше ере)

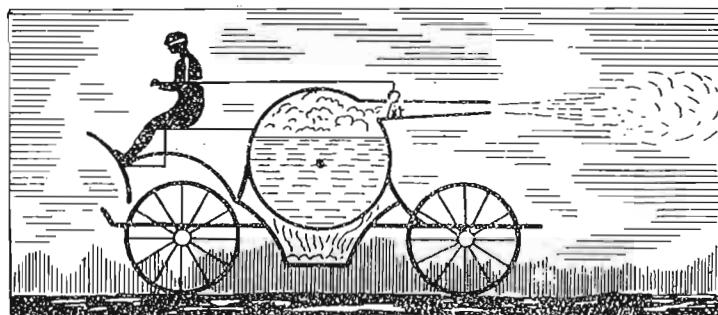
јао пројекат механичког брода који се заснивао на томе истом начелу; залиха воде на броду испуштала се помоћу снажне пумпе смештене на крми. Услед тога би се лађа морала кретати напред, — као оне кутије од плеха које пливају по води, а које се налазе по школским физичким кабинетима ради доказивања разматраног принципа. Тадај пројекат (који је поднео Ремзи) није био остварен, али је он ипак одиграо извесну улогу у проналажењу пароброда, јер је навео Фултона на његову идеју.

Знамо такође да је најстарија парна машина, коју је пронашао Херон Александријски још у II веку пре наше ере, била направљена на томе истом принципу: пара из казана β (сл. 7) долазила је кроз цев $ε\eta$ у куглу при-чвршћену на хоризонталној осовини; излазећи затим

ракета је такође топ, само што не избацује гранату, него барутне гасове. Из истог се узрока окреће и такозвани кинески точак, који сте вероватно посматрали приликом ватромета: при горењу барута у цевчицама, причвршћеним на точку, гасови излазе на једну страну, док се саме цеви (а с њима и точак) крећу у супротном правцу. У суштини, то је само модификација општепознатог физичког апарат — Сегнеровог точка.

Интересантно је приметити да је пре проналаска пароброда постојала кретати напред, — као оне кутије од плеха које

кроз цеви савијене на лакат, пара је гурала те цеви у супротном правцу и кугла је почињала да се окреће. Нажалост, Херонова парна машина остала је у старо доба само као интересантна играчка, јер јефтини рад робова није никога побуђивао на практично коришћење машина. Међутим, сам принцип техника није напустила: он се у наше време примењује у конструкцији реактивних турбина. Њутну — аутору закона дејства и противдејства — приписују један од најстаријих пројектата парног аутомобила, који се заснива на истом принципу: пара из казана, постављеног на точкове, избија на једну страну, док се сам казан, услед одбојне сile, вози на супротну страну (сл. 8).



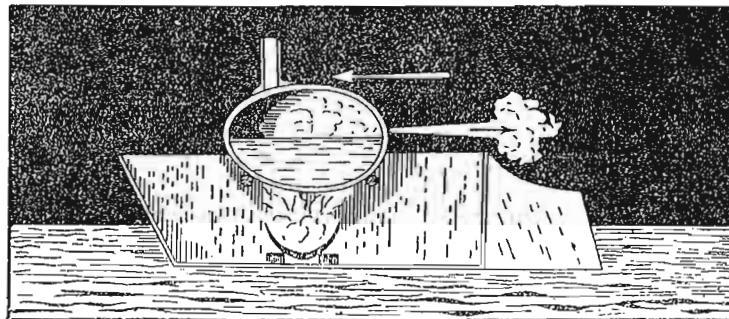
Сл. 8. Парни аутомобил који се приписује Њутну

Ракетни аутомобили представљају савремену модификацију Њутнових кола.

За оне који воле мајсторије дата је овде слика пароброда од хартије, који је такође веома сличан Њутновим колима: испразни се јаје и у њему се, као у парном казану, загрејава насута вода, и тиме се ствара пара. Загрејавање се врши из напрстка у коме се налази алкохолом натопљена и запаљена вата. Пара избија кроз отвор на љусци и покреће целу лађу у супротном правцу. За израду ове поучне играчке потребне су, ипак, веома веште руке.

Сличан »реактивни« паробродић, који је од алуминијума направио искусни лењинградски физичар-конструк

тор Н. Г. Тимофејев, могао се видети у Павиљону зајмљиве науке (у лењинградском ЦПКО); под дејством струје водене паре, која је избијала напоље, пароброд је брзо описивао велике кругове по равној површини воде у басену.



Сл. 9. Пароброд направљен од хартије и коре од јајета. Као гориво служи алкохол наливен у напрстак. Пара, која избија кроз отвор «парног казана» (испијено јаје), присиљава пароброд да плови у супротном правцу

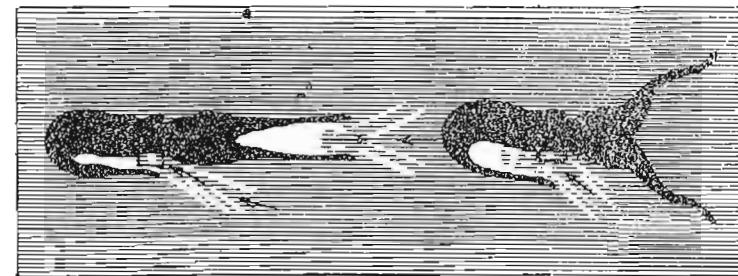
Како се креће сепија?

Чудићете се кад чујете да није мало живих бића за које је тобожње »подизање самог себе за косе« обичан начин њиховог кретања у води.

Сепија се, као и уопште већина главоногих мекушаца, креће на такав начин: она увлачи воду у шупљину кроз бочни отвор и нарочити левак на предњем делу тела, а затим енергично избацује водену струју кроз поменути левак; при томе она — по закону противдејства — добија ударац у супротном правцу, довољан да би прилично брзо пливала задњом страном тела напред. Сепија може, уосталом, да усмери цев левка устрани или назад и да се, снажно потискујући из ње воду, креће у ма коме правцу.

На томе се заснива и кретање медуза: стезајем мишића, оне избацују воду испод свога тела сличног звону,

добијајући ударац у супротном правцу. На сличан начин крећу се салпите, личинке вилиног коњица, и друге водене животиње. А ми смо још сумњали у могућност таквог кретања!



Сл. 10. Како плива сепија

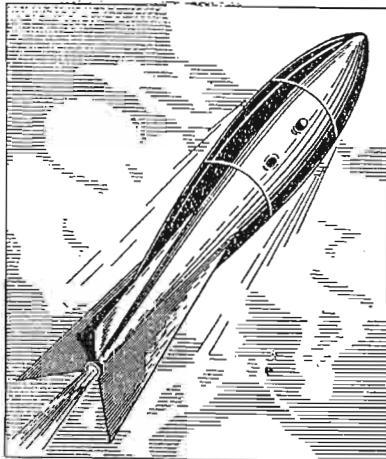
На ракети пут звезда

Шта може бити примамљивије него напустити земљину куглу и путовати по неизмерној висини, летети са Земље на Месец, са планете на планету? Колико је фантастичних романа написано о тој теми! Ко нас све није водио на замишљено путовање по небеским телима! Волтер у »Микромегасу«, Жил Берн у »Путу на Месец« и »Хектору Сервадаку«, Уелс у »Првим људима на Месецу«, и многи други, који су се на њих угледали, чинили су интересантна путовања на небеска тела, — наравно, у машти. Уствари, ми за сада остајемо заробљеници земаљске кугле.

Зар нема могућности да се оствари та давнашња машта? Зар се сви духовити пројекти, који су тако примамљиво описани у романима, тако слични истини, одиста не могу остварити? У даљем излагању говорићемо још о фантастичним пројектима међуланетских путовања, а сада ћемо се упознати са стварним пројектом таквога лета, који је први поднео покојни совјетски научник К. Е. Циолковски.

Може ли се до Месеца долетети на авиону? Наравно је: авиони и дирижабли се крећу само услед тога што се

одупиру о ваздух, — а између Земље и Месеца нема ваздуха. У свемирском простору уопште нема ничега о што би се могао одупрети »међуланетски дирижабл«. Дакле, треба сmisлiti такав апарат који ће бити способан да се креће и управља не одупирући се ни о што.



Сл. 11. Пројекат међуланетског дирижабла, конструисаног као ракета

управљајући експлозијама, да повећавају брзину тога међуланетског дирижабла са потребном постепеношћу, како пораст брзине не би за њих био штетан. Ако би жељели да се спусте и на неку планету они би могли, окрнувши своју лађу, да смањују постепено брзину њеног кретања и да тако ослабе падање. Коначно, путници би могли да се на исти начин врате и на Земљу.

Питање ванатмосферског лета или »звездане пловидбе«, на принципу ракете, већ су разрадили теоретичари код нас (К. Е. Циолковски) и на Западу. За сада се у том правцу чине само први, веома скромни кораци.⁷

⁷ Детаљније о савременом стању ракетне технике и звезданско-пловидбе могу читаоци наћи у мојој књизи »Међуланетска путовања«, 1935 т., а такође и у мојим књигама »Ракетом на месец«, »На ракети пут звезда«, »Циолковски, Живот и техничке замисли«.

Али, сетимо се како је још недавно авијација чинила своја прва бојажљива освајања. А сада — авиони већ високо јуре у ваздуху, прелетају планине, пустиње, континенте, океане.

Може бити да и »звезданој пловидби« претстоји такав бујан процват кроз две-три деценије? Тада ће човек раскинути невидљиве ланце, који су га тако дugo прикивали за родну планету, и јурнути у безграницни простор васионе.



ГЛАВА ДРУГА

СИЛА. РАД. ТРЕЊЕ

Задатак о лабуду, раку и штуки

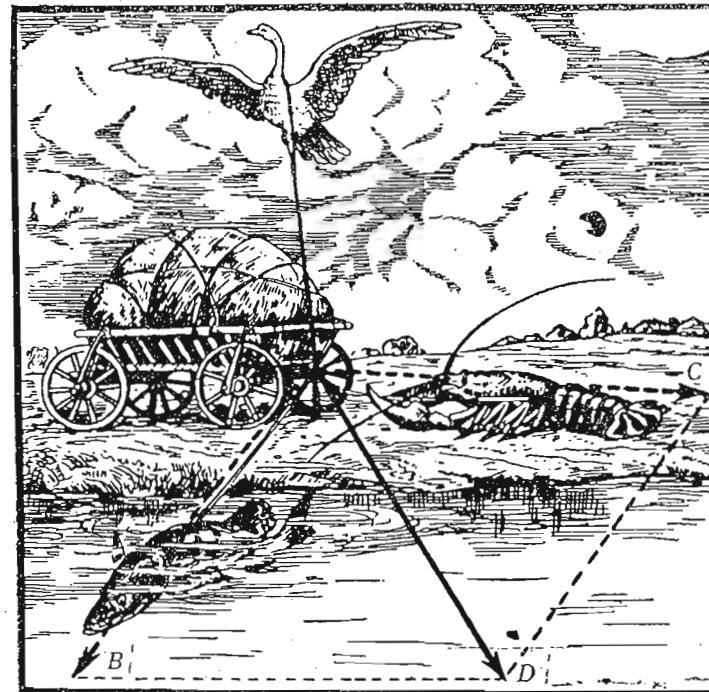
Свима је позната прича о томе како су се »лабуд«, рак и штука латили да возе натоварена кола». Али, мало је ко покушао да ту басну размотри са гледишта механике. Дође се до резултата који нимало не личи на закључак баснописца Крилова.

Пред нама је задатак из механике о слагању неколико сила, које под углом делују једна на другу. Правац деловања сила одређен је у басни овако:

...Лабуд хоће у облаке,
Рак ише назад, а штука вуче у воду.

То значи (сл. 12) да је једна сила, она којом вуче лабуд, — управљена увис; друга, сила којом вуче штука, (*OB*), — устрани; трећа, она којом вуче рак (*OC*), — назад. Не заборавимо да постоји још и четврта сила — тежина кола — која има правац вертикалан доле. Васна тврди да су »кола и сада тамо«, другим речима: да је резултант свих сила које делују на кола — једнака нули.

Је ли тако? Погледајмо. Лабуд, који вуче према облацима, не омета рад рака и штуке, чак им помаже: лабудово вучење, које има правац супротан сили теже, смањује трење точкова о земљу и -о осовине, олакшавајући тиме тежину кола, а можда чак с њом постиже и равнотежу, — јер терет није велики (»товар би за њих могао бити и лак«). Ако допустимо, ради упрошћавања ствари,



Сл. 12. Задатак о Криловљевом лабуду, ражу и штуки, решен по правилима механике. Резултантa (OD) мора одвучи кола у реку

овати последњи случај, видимо да остају само две силе: сила којом вуче рак и она којом вуче штука. О правцу тих сила вели се у басни да »рак иде назад, штука вуче у воду«. Само се по себи разуме да се вода није налазила испред кола, него негде са стране (нису се, вальда, састали Криловљеви трудбеници да кола потопе!). Даље,

силе којима рак и штука вуку кола усмерене су под углом једна на другу; а ако је тако, њихова резултантна никако не може бити једнака нули.

Поступајући по правилима механике, подигнимо над обе силе OB и OC паралелограм; његова дијагонала OD даје правац и величину резултанте. Јасно је да та резултантна сила мора покренути кола са места, тим прешто се њихова тежина потпуно или делимично уништава сјулом којом вуче лабуд. Друго је питање — на коју ће се страну покренути кола: напред, назад или устрани? То већ зависи од узајамног односа сила и од величине угла међу њима.

Читаоци који имају извесну праксу у слагању и разлагању сила, лако ће се снажи и у случају када сила којом лабуд вуче не долази у равнотежу са тежином кола; они ће се уверити да кола ни тада не могу остати непокретна. Само се под једним условом може додгодити да се кола не покрену под дејством те три силе: ако је трење на њиховим осовинама и на друму веће од сила које на кола делују. Али се то не би слагало са тврђењем да би »товар за њих могао бити и лак».

У сваком случају Крилов није могао са сигурношћу тврдити да »кола не могу да крену« и да су »кола и сад тамо«. То, уосталом, не мења смисао басне.

Насупрот Крилову

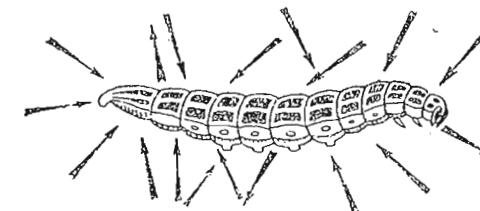
Сад смо видели да се правило Крилова: »Када међу друговима нема слоге, посао им не полази за руком« — не може увек применити у механици. Силе могу бити управљене у разним правцима и, без обзира на то, могу дати известан резултат.

Мало ко зна да се марљиви трудбеници — мрави, које је баш исти Крилов хвалио као примерне раднике, у заједничком раду понашају баш на начин који је исмејао баснописац. А посао им, уопште, полази за руком. Ту опет спасава закон слагања сила. Ако будете пажљиво посматрали мраве при раду, ви ћете се убрзо уверити,

да је код њих разумна сарадња само привидна: уствари, сваки мрав ради сам за себе, и не мислећи уопште да помаже другима.

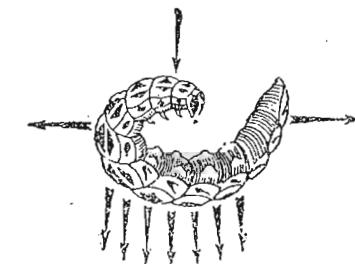
Ево како рад мрава описује један зоолог:⁸

»Ако крупан плен вуче десетак мрава по равноме месту, сви дејствују подједнако и добија се изглед сарадње. Али, нека се плен — на пример гусеница — зачаки за какву препреку, за стабљику траве, за камичак. Напред даље не треба вући, потребно је заобићи. Тада се јасно показује да се сваки мрав на свој начин, не радићи у сагласности ни с једним од својих другова, труди да изађе на крај са препреком (сл. 13 и 14). Један вуче десно, а други лево; један гура напред, други вуче назад. Прелазе са места на место, хватају гусеницу на другом



Сл. 13. Како мрави вуку плен. Стрелице показују правац у коме поједини мрави вуку

месту и сваки гура или вуче на свој начин. Када се деси да се њихове силе сложе тако да у једном правцу вуку гусеницу четири мрава, а у другом шест, гусеница ће се најзад покренути на страну тих шест мрава, без обзира на супротно дејство она четири мрава. Сл. 14 објашњава речено.

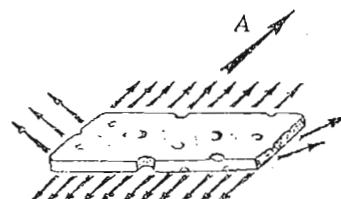


Сл. 14. Како мрави вуку гусеницу

Да наведемо још један пример који смо позајмили и који очигледно илуструје ту тобожњу сарадњу мрава

⁸ Ј. Јелачић. Инстинкт.

На сл. 15 је показан комадић сира правоугаоног облика, за који се ухватило 25 мрава. Сир се појако креће у правцу који је означен стрелицом А и могло би се по-мислiti да предњи ред мрава вуче терет себи, а да га задњи ред гура напред, док мрави са стране помажу и једнима и другима. Ипак, то није тако, у што се није тешко уверити: одвојите ножем цели задњи ред, — терет ће кренути знатно брже. Јасно је да тих 11 мрава вукло назад, а не напред: сваки се од њих трудио да терет окре-



Сл. 15. Како се мрави труде да комадић сира довуку до мравињака, који се налази у правцу стрелице А

не тако да би га, идући назад, вукао према мравињаку. Дакле, задњи мрави не само да нису помогали предњима, него су им марљиво сметали, уништавајући њихове напоре. Да би се одвукao тај комадић сира били су доволни напори свега четири мрава, али несложност њихових настојања доводи до тога да терет вуче 25 мрава.*

Да ли је лако сломити љуску од јајета?

Међу филозофским читањима над којима је ломио своју мудру главу дубокомислен Кифа Мокијевић из »Мртвих душа« налазио се и овај проблем: »А кад би се слон родио у јајету, кора би била силно дебела, — топом је не би пробио: стога треба неко ново ватreno оружје измислити.«

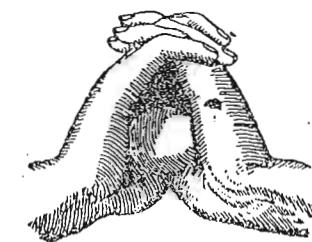
* Заслужује дивљења чињеница да је ту особеност заједничког рода мрава већ давно запазио амерички хуморист Марк Твен. Причало је о сусрету два мрава, од којих је један нашао ногу од цврчика. Твен вели: »Они узму ногу за оба краја и вуку из све снаге у супротним правцима. Оба виџе да нешто није у реду, али шта, не могу да схвате. Отпочињу узајамне препирке; спор прелази у тучу... Долази до измирења и оново почиње заједнички и бесмислен рад, при чему се у тучи рањени друг јавља само као сметња. Напрежући се из све снаге, здрави друг вуче терет, а с њим и рањеног друга који, уместо да уступи плен, виси на њему.« Шалећи се, Твен чини савршено правилну примедбу да »мрав ради само онда када га посматра искусни природњак који чини нетачне закључке.«

Гогољев филозоф би се, вероватно, прилично зачудио кад би сазнао да и обична љуска од јајета, без обзира на то што је танка, — није ни издалека нежна ствар. Згњечити јаје међу длановима, притискујући на његове крајеве, није тако лако; потребан је приличан напор да се сломи љуска при таквим условима.¹⁰

Тако необична чврстоћа љуске од јајета зависи искључиво од њеног испупченог облика и објашњава се исто тако као и издржљивост свих сводова и лукова.

На приложеном сл. 17 показан је пресек омањег каменог свода над прозором. Оптерећење (то јест тежина зида изнад свода), које се ослања на клинасти средњи камен свода, врши притисак према доле снагом, која је на слици означенa стрелицом А. Али, камен не може да падне доле због свога клинастог облика; си само врши притисак на суседно камење. При томе се сила А разлаже, по правилу паралелограма, на две снаге, означене стрелицама С и В; оне се држе у равнотежи отпором суседног камења, које је са своје стране притиснуто између суседног камења. Тако сила која споља врши притисак на свод, не може да га разруши. Али га је зато релативно лако разрушити силом која делује изнутра. То је и разумљиво, јер клинасти облик камења, који камењу смета да пада, не чини никакве запреке да се оно подигне.

¹⁰ Експеримент садржи извесну опасност (кора се може забести у руку) и захтева опрезност.



Сл. 16. Да би се сломило јаје у оваквом положају, потребна је велика снага



Сл. 17. Узрок издржљивости свода

Љуска од јајета је такође свод, само јединствен а не састављен од поједињих делова. При притиску споља тај свод не руши лако, као што би се могло очекивати од тако кртог материјала. Могу се ноге од прилично тешког стола ставити на четири некувана јаја, и јаја се неће згњечити (ради стабилности јаја и повећања површине притиска треба снабдити јаја гипсаним проширењима на врховима; гипс се лако лепи уз кречну љуску).

Ви сада разумете зашто се квочка не мора да плаши да ће сломити љуску од јаја тежином свога тела. А у исто време, слабо пиле, које жели да изађе из природне тамнице, разбија кљунићем без муке љуску изнутра.

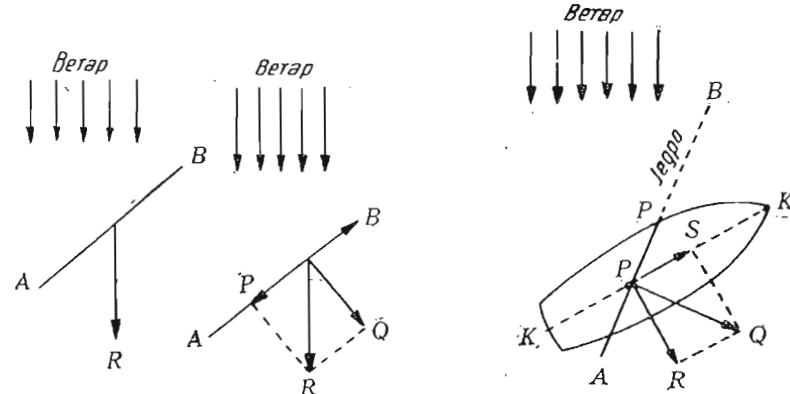
Разбијајући са лакоћом љуску од јајета, када је кашиком за чај ударимо са стране, ми и не помицљамо како је она јака када на њу делује притисак под природним условима и каквим је сигурним оклопом заштитила природа живо биће које се у њој развија.

Загонетна отпорност електричних сијалица, које изгледају тако нежне и крте, објашњава се исто тако као и отпорност љуске од јајета. Њихова ће чврстина изгледати још чудесната, ако се сетимо да су многе од њих (оне које су празне, а не испуњене гасом) — скоро а и сопутно празне и ништа изнутра не делује насупрот притиску спољњег ваздуха. А величина ваздушног притиска на електричну сијалицу није мала: са пречником од 10 цм она трпи притисак са обе стране већи од 75 кг (тежина човека). Експеримент показује да је празна електрична сијалица способна да издржи чак $2\frac{1}{2}$ пута већи притисак.

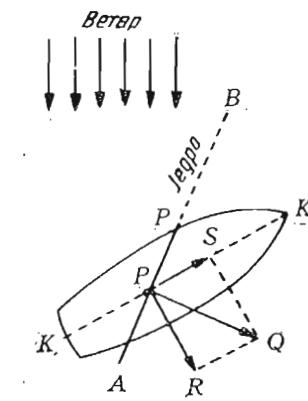
Са једрима насупрот ветру

Тешко је замислiti како се једрилице могу кретати »против ветра« — или, како морнари кажу »бордижат«. Истина, морнар ће вам рећи да се право против ветра не може једрити, а да се може кретати само под оштрим углом у правцу ветра. Али тај је угао мали — око четвртине правог угла — и једнако је несхватљиво како се може пловити право против ветра или под углом од 22° на правац ветра.

У пракси то, ипак, није свеједно и ми ћemo одмах објаснити како се може снагом ветра кретати ветру у супрет под малим углом. Размотримо најпре како уопште делује ветар на једро, тј. куда он гура једро када дува на њега. Ви, вероватно, мислите да ветар увек гура једро на ону страну па ћоју и сам дува. Али то није тако: у ма коме правцу ветар дувао, он гура једро перпендикуларно на раван једра. Нека ветар дува у правцу који је на сл. 18 показан стрелицама: линија AB означава једро. Како ветар притискује равномерно на целу површину једра, заменимо притисак ветра силом R , која делује у средини једра. Ту силу разложимо на две: на силу Q , перпендикуларну на једро, и на силу P , која има правац дуж једра (сл. 18, десно). Ова последња сила не гура једро никада, јер је треће ветра о платно безначајно. Остаје сила Q , која гура једро под правим углом.



Сл. 18. Ветар гура једро увек под правим углом на његову површину



Сл. 19. Како се може на једрилици пловити против ветра

Када то знамо, ми ћemo лако разумети како може једрилица да плови под оштрим углом насупрот ветру. Нека линија KK' (сл. 19) претставља уздужну линију трупа лађе. Ветар дува под оштрим углом на ту линију, у правцу који је показан низом стрелица. Линија AB претставља једро; оно се поставља тако да његова повр-

шина дели напола угао између правца који има кљун лађе и правца ветра. Погледајте на сл. 19 разлагање сила. Притисак ветра на једро претстављамо силом Q , која,

као што знамо, мора бити перпендикуларна на једро. Разложимо ту силу на две: на силу R , која је перпендикуларна на правац кљуна лађе, и на силу S , која је управљена напред, дужином лађе. Како кретање лађе у правцу R наилази на снажан отпор воде (кљун се код једрилица прави веома дубок), сила R се скоро потпуно уништава. Остаје само сила S , која, као што видите, има правац напред и према томе покреће лађу под углом, тако рећи у сусрет ветру.¹¹ То се кретање обично врши цик-зак, као што је показано на сл. 20. На морнарском се језику такво кретање лађе назива »маневрисањем« у ужем смислу речи.

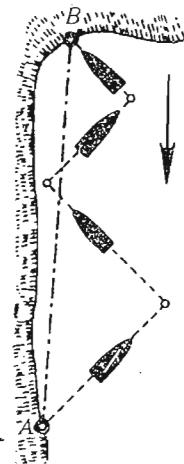
Сл. 20. Маневрисање једрилице

Да ли је Архимед могао подићи Земљу?

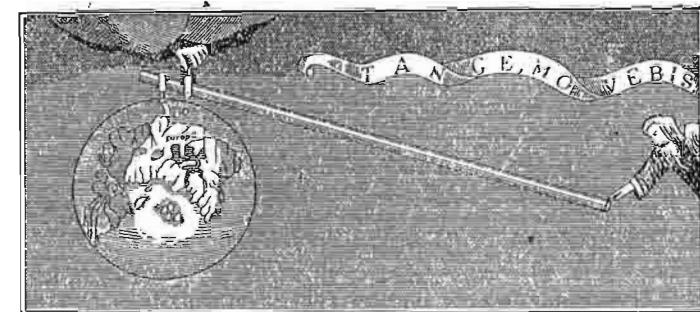
»Дајте ми тачку ослонца и ја ћу подићи Земљу!« — такав ускулк приписује легенда Архимеду, генијалном механичару Старога века, који је открио закон полузе. »Једанпут је Архимед, — читамо код Плутарха, — написао сиракускоме краљу Хијерону, своме сроднику и пријатељу, да се датом силом може покренути који било терет. Занесен снагом својих доказа, он је додао, да би покренуо са места нашу Земљу, кад би постојала нека друга Земља и кад би могао прећи на њу.«

Архимед је знао да не постоји такав терет који се не би могао подићи и најслабијом силом, ако се употреби полуза: довољно је само деловати том силом на један крак полузе који је веома дугачак и пустити да кратки крак

¹¹ Може се доказати да је сила S највећа онда када раван једра дели напола угао између правца кљуна лађе и правца ветра.



делује на терет. Стога је он и мислио да се може снагом руке, притискујући на ванредно дугачак крак полузе, подићи терет, чија је маса једнака маси земљине кугле.¹²



Сл. 21. »Архимед полузе диже Земљу«. Гравура из Варињонове књиге о механици (1787)

Али, да је велики механичар Старога века знао како је сгромна маса земљине кугле, он би се вероватно уздржао од свога охолог усклика. Замислимо за тренутак да је Архимеду дата та »друга Земља«, та тачка ослонца коју је он тражио; замислимо даље да је он израдио полузе потребне дужине. Знате ли, колико би му времена требало да терет који је по маси једнак земљиној кугли подигне макар само за један центиметар? Не мање од тридесет хиљада билиона година!

Ствар је у овоме. Земљина маса је позната астрономима¹³; тело са таквом масом било би на Земљи тешко округло

6.000.000.000.000.000.000.000 кг.

Ако човек може да непосредно подигне само 60 кг онда би му, да би »подигао Земљу« било потребно да руком притисне на дугачки крак полузе, који је већи од краткога крака

100.000.000.000.000.000.000 пута!

¹² Под изразом »подићи земљу« подразумеваћемо да бисмо задатак дефинисали, подизање на земљину површину таквога терета чија је маса једнака са масом наше планете.

¹³ О томе како је она одређена, види »Занимљиву астрономију«.

Прост рачун ће вас уверити: док се краћи крак подигне за 1 цм, дужи крак полуге ће морати да опише у висиони огромни лук од

1.000.000.000.000.000.000 км.

Такав би несхвательво дугачки пут морала да пређе Архимедова рука која би притискивала полугу да би »подигла Земљу« само за 1 цм! А колико је времена потребно за то? Ако се рачуна да је Архимед могао подићи терет од 60 кг на висину од 1 м за једну секунду (радна способност од скоро целе коњске снаге!), онда је за »подизање Земље« за 1 цм потребно

1.000.000.000.000.000.000 секунда, или тридесет хиљада билиона година. У току свог целог дугог живота не би Архимед, притискујући полугу, »подигао Земљу« чак ни колико је дебела најтања длака...

Никаква вештина генијалног проналазача не би му помогла да приметно скрати тај рок. »Златно правило механике« гласи, да на свакој машини добитак у сили неизбежно прати одговарајући губитак у дужини пута, тј. у времену. Кад би Архимед чак довео брзину своје руке до највеће брзине која је могућа у природи, — до 300.000 км у секунди (брзина светlosti), он би са тако фантастичном претпоставком »подигао Земљу« за 1 цм тек после десет милиона година рада.

Жил-Вернов атлета и Ајлерова формула

Ви се сећате Жил-Верновог атлете Матифуа? »Дивна глава, пропорционална са циновским растом; груди као ковачки мех; ноге — као добри балвани, руке — праве дизалице, са песницама налик на чекиће...« Вероватно се, између подвига тог атлете, описаных у роману »Матијас Сандорф«, сећате запрепашћујућег случаја са лађом »Трабоколо«, када је наш гигант, снагом моћних руку, задржао при спуштању у море целу лађу.

Ево како прича романописац о томе подвигу:

»Лађа, већ ослобођена од подупирача који су је придржавали са бокова, била је спремна за спуштање у море.

Довољно је било дигнути швартове¹⁴, па да лађа почне да клизи доле. Већ је пола туцета дрводеља баратају испод трупа лађе. Гледаоци су са живом радознaloшћу пратили ту операцију. У том часу, обипавши истурени део обале, појави се лака јахта за разоноду. Да би ушла у луку, јахта је морала проћи испред бродоградилишта где се припремало спуштање »Трабокола«, и чим је она дала сигнал, морало се, да би се избегле све случајности, задржати спуштање у море, да би се поново прихватили посла пошто јахта прође у канал. Кад би се судариле лађе, од којих је једна стајала попреко а кретала се великим брзином, — јахта би пропала.

Радници су престали да лупају чекићима. Сви су погледи били управљени на грациозну лађу чија су бела једра изгледала као позлаћена при косим зрацима сунца. Убрзо се јахта нашла баш према бродоградилишту, у коме је занемела огромна гомила радозналих људи. Најједном се разлегао ужасни крик: »Трабоколо« се заљуљао и почeo је да се креће баш у часу када се јахта окренула према њему боком! Обе лађе су биле пред сударом; није било ни времена ни могућности да се судар спречи. »Трабоколо« је брзо клизио доле по стрмини... Бели дим, који се појавио услед трења, извијао се пред његовим кљуном, док се крма већ била загњурила у воду залива (лађа се спуштала крмом напред. — Ј. П.).

Најједном се појављује човек, хвата швартове који висе на предњем делу »Трабокола« и труди се да задржи лађу нагнувши се према земљи. За једну минуту он намотава швартове на железну цев забијену у земљу и, рескирајући да буде згњечен, држи у рукама са надљудском снагом паламар у току 10 секунда. Коначно се шварт прекиде. Али је тих 10 секунда билоовољно: »Трабоколо« је, загњуривши се у воду, само лако додирнуло јахту и пројурио је напред.

Јахта је била спасена. А човек, коме нико није успео чак ни да прискочи у помоћ, — тако се брао и неочекивано све десило, — био је Матифу.«

¹⁴ Шварт — котва за пристајање лађе. — Прим. прев.

Како би се зачудио писац романа кад бисмо му казали, да уопште није потребно, да би се извршио слични подвиг, бити колос и владати, као Матифу, »снагом тингра«. Сваки би девитљив човек могао учинити то исто!

Механика учи, да при клизању гвозденог конопца, навијеног на битву,¹⁵ трење достиже веома велики степен. Што је већи број намотаја конопа, утолико је веће трење. Према правилу о порасту трења, са повећањем броја намотаја у аритметичкој прогресији, трење расте у геометријској прогресији. Због тога чак и слаби дечак, држећи слободни крај конопца, који је 3—4 пута намотан на непокретну битву, може држати у равнотежи огромну силу. Често на речним паробродским пристаништима дечаци заустављају на тај начин пароброде који прилазе са стотину путника. При томе им не помаже феноменална снага њихових руку, него трење ужета о шип.

Чувени математичар XVIII века Ајлер утврдио је зависност снле трења од броја намотаја конопца око дијека. За оне које не плаши сажети језик алгебарских израза донесим ту поучну Ајлерову формулу:

$$F = fe^{ka}.$$

Ту је F она сила против које је управљено наше напрезање f . Словом e означен је број $2,728\dots$ (база природних логаритама), k је коефицијент трења између челичног ужета и стуба. Словом a означен је »угао намотавања«, тј. однос дужине лука обухваћеног конопцем, према радиусу тога лука.

Применимо формулу на случај који је описао Жил Верн. Доћи ће се до изненађујућег резултата. Као сила F у датом случају појављује се она сила којом вуче лађа клизећи по доку. Тежина је лађе из романа позната: 50 тона. Нека је нагиб стапла¹⁶ $1/_{10}$; у том случају на паламар није дејствовала пуна тежина лађе, него $1/_{10}$ њене тежине, тј. 5 тона или 5000 кг.

¹⁵ Стуб за који се вежу лађе. — Прим. прев.

¹⁶ Стапља — скела у доку за прављење и спуштање лађа. — Прим. прев.

Даље ћемо узети да вредност k — коефицијент трења паламара о гвоздену битву — износи $\frac{1}{2}$. Колико износи a одредићемо лако ако претпоставимо да је Матифу обавио паламар око битве свега три пута. Тада ће бити:

$$a = \frac{3 \times 2\pi}{r} = 6\pi.$$

Ако унесемо све вредности у горе наведену Ајлерову формулу, добићемо једначину

$$5000 = f \cdot 2,72^{6\pi} \cdot \frac{1}{3} = f \cdot 2,72^{2\pi}$$

Непознату f (тј. величину потребног напора) можемо одредити из те једначине, ако прибегнемо помоћи логаритама:

$$\log 5000 = \log f + 2\pi \log 2,72$$

одакле је

$$f = 9,3 \text{ кг.}$$

Дакле, да би извршио подвиг, колосу је било довољно да вуче паламар снагом од свега 10 килограма!

Немојте мислiti да је та цифра — 10 кг — само теориска цифра и да је у пракси потребан много већи напор. Напротив, наш је резултат чак преувеличен: са конопом од кудеље и са дрвеним диреком, када је коефицијент трења k већи, потребан је смешно мали напор. Ако је само конопац довољно јак да би могао држати напрезање, — онда би чак и слабо дете могло, обмотавши конопац 3—4 пута, не само поновити подвиг Жил-Верновог јунака, него га и превазићи.

Од чега зависи јачина узлова?

У свакодневном животу, и не слутећи, често се користимо погодношћу на коју нам указује Ајлерова формула. Узао није ништа друго него узица навијена на ваљак, који је у датом случају јствари други део исте узице. Јачина сваке врсте узлова — обичних, »морских«, »амбуланских«, машна итд. — зависи искључиво од

трења, које се овде много пута појачава услед тога што се врпца обавија око саме себе, као уже око битве. У то се није тешко уверити ако се прате савијутци врпце у узлу. Што је више савијутака, што се више узица обавија око саме себе, — утолико је већи »угао намотавања« и, према томе, утолико је јачи чвор.

Песвесно се користи том околношћу и кројач када пришива дугме. Он много пута обмотава конац око делића материје захваћеног бодом и затим га прекида; ако је конац јак, дугме неће отпасти. Овде се примењује правило које нам је већ познато: ако се број намотаја конца повећава у аритметичкој прогресији, јачина шва расте у геометриској прогресији.

Кад не би било трења, ми се не бисмо могли служити дугметима: конци би се размостали под њиховом тежином и дугмета би отпала.

Кад не би било трења

Видите како се разноврсно и понекад неочекивано испољава трење у свакодневном животу. Трење узима учешћа, и то веома битног, тамо где ми на њ чак и не помишљамо. Кад би трење изненада потпуно ишчезло, мноштво обичних појава дешавало би се у савршено другом облику.

Веома сличковито пише о улози трења француски физичар Гијом:

»Свима нам се дешавало да изађемо на поледицу: колико нас је напора стајало да се задржимо од пада, колико смо смешних покрета морали да учинимо да бисмо остали управни! То нас присиљава да признамо да Земља, по којој ходамо, обично има драгоценна својства, благодарећи којима мя одржавамо равнотежу без нарочитих напора. Та се мисао јавља у нама када се возимо на бициклу по клизавој калдрми или када се кој на асфалту оклизне и падне. Проучавајући такве појаве ми откривамо сне последице до којих доводи трење. Инжењери се труде да га, по могућности, уклоне из машина — и добро чине. У примењеној се механици о трењу говори као о крајње незгодној појави и то је правилно, —

иако само у уској, специјалној области. У свима другим случајевима ми морамо бити захвални трењу: оно нам омогућава да ходамо, седимо и радимо без бојазни да ће књиге и мастионица пасти на под, да ће сто клизити док се не заустави у углу, а перо исклизнути из прстију.

Трење је тако распрострањена појава да нам није потребно, осим ретких изузетака, да га призовамо у помоћ: оно се јавља и само.

Трење доприноси стабилности. Дрводеље изравнају под тако да столови и столице остају онде где смо их поставили. Чиније, тањири, чаше, постављене на сто, остају непокретне без нарочите брине са наше стране, осим на паробрду за време буре.

Замислимо да трење може бити потпуно уклоњено. Тада се никаква тела, била она велика као огромни комад камена или мала као зрно песка, не би никада задржала једно на другоме: све би клизило и котрљало се док се не би нашло на јаком нивоу. Кад не би било трења, Земља би претстављала куглу без неравнина, сличну течноме телу.«

На ово се може додати да би при отсуству трења ексери и завртњи исклизнули из зидова, ниједна ствар се не би могла задржати у рукама, никакву грађевину не би било могуће подићи, никаква олуја не би никад престала, никакав звук не би уђутао, него би звучао бескрајним одјеком, који би се, не слабећи, одбијао о зидове собе.

Очигледну лекцију, која нас уверава у огромну важност трења, даје нам сваки пут поледица. Када нас она заћече на улици ми постаемо беспомоћни и стално рескирамо да паднемо. Ево поучног извода из новина (децембар 1927. г.):

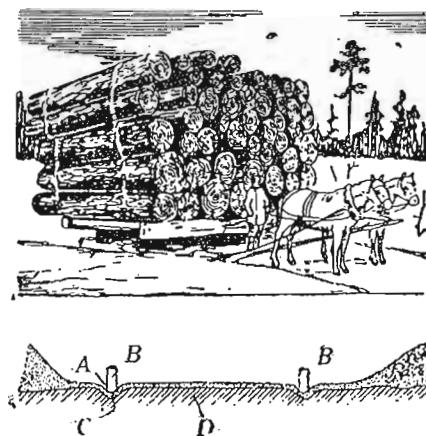
»Лондон, 21.

»Услед јаке поледице улични и трамвајски саобраћај у Лондону приметно је отежан. Око 1400 људи доспело је у болнице са преломима руку, ногу итд.«

»Приликом судара три аутомобила и два трамвајска вагона у близини Хајд-Парка машине су биле потпуно уништене због експлозије бензина...«

»Париз, 21. Услед поледице у Паризу и у његовим предграђима дошло је до многобројних несрећних случајева...«

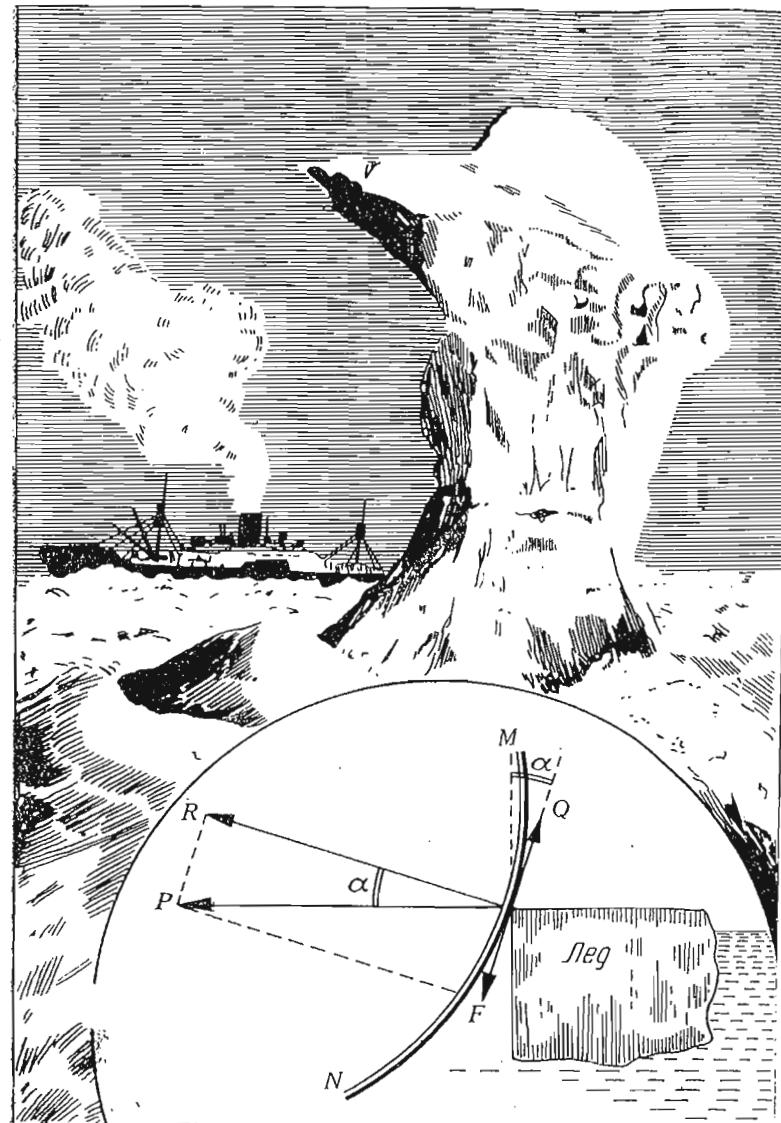
Ипак, незнатно трење на леду може бити успешно технички искоришћено. Већ обичне саснице служе као пример за то. Још боље сведоче о томе такозвани ледени путеви, који се праве за одвоз дрвета од места сече до железнице или до сплава. На таквом путу, који има глатке ледене колосеке, два коња вуку саонице натоварене балванима у тежини од 70 тона (сл. 22).



Сл. 22. Горе — натоварене саонице на леденом путу: два коња вуку терет од 70 тона. Доле — ледени пут: *A* — колосек; *B* — саонични салинац; *C* — набијени снег; *D* — земљана подлога пута.

Физички узрок катастрофе »Чељускина«

Из реченога не треба одмах чинити брз закључак да је трење о лед незнатно при свима околностима. Чак и на температуре близу нуле трење о лед бива често прилично значајно. Последњих се година, у вези са радом наших ледоломаца, брижљиво проучавало трење леда поларних мора о челични оклоп брода. Показало се да је оно неочекивано велико и да није мање од трења гвожђа о гвожђе: коефицијент трења новог челичног бродског оклопа о лед износи 0,2.



Сл. 23. »Чељускин« притиснут сантама леда. Доле: сице које делују на бок лађе *MN* при притиску леда.

Да бисмо разумели шта значи та цифра за бродове који плове између санта леда, погледајмо сл. 23; она показује правца сила које делују на бок лађе MN при притиску леда. Сила P — притисак који врши лед — разлаже се на две силе: R — перпендикуларну на бок лађе, и F — која иде по тангенти повученој на бок лађе. Угао између P и R једнак је углу α , тј. углу који затвара бок са вертикалом. Сила Q — трење леда о бок лађе — равна је сили R , помноженој са коефицијентом трења, тј. са 0,2; према томе је $Q = 0,2 R$. Ако је сила трења Q мања од F , онда сва последња сила вуче под воду лед који притискује о бок лађе; лед клизи низ бок и не успева да лађи нанесе штете. Ако је сила Q већа од F , трење спречава санту леда да клизи по боку лађе и лед може, при трајном притиску, згњечити и пробити ребра лађе.

Када је $Q < F$? Лако је видети да је $F = R \operatorname{tg} \alpha$; према томе мора постојати неједначина $Q < R \operatorname{tg} \alpha$; а како је $Q = 0,2 R$, онда се неједначина $Q < F$ може заменити другом неједначином:

$$0,2 R < R \operatorname{tg} \alpha$$

или

$$\operatorname{tg} \alpha > 0,2$$

Из таблици ћемо наћи угао чији је тангенс једнак 0,2; он износи 11° . Дакле је $Q < F$ снда, кад је $\alpha > 11^\circ$. Тим самим се одређује који угао мора да затвара бок лађе са вертикалом, па да се осигура безбедна пловидба кроз лед: угао не сме бити мањи од 11° .

Осврнимо се сада на пропаст »Чељускина«. Тада је пароброд, који није био ледоломац, успешно прошао цели северни морски пут, али га је у Беринговом Море-узу лед здробио.

Лед га је однео далеко на север и згњечио га у фебруару 1934. г. Херојски двомесечни боравак чељускинаца на санти леда и њихово спасавање, које су извршили хероји-авијатичари, опште је познато.

Ево описа саме катастрофе:

»Јаки метал трупа лађе није одмах попустио, — говорио је преко радија вођа експедиције професор О. Ј.

Шмит. — Видело се како санта леда притискује бок и како се изнад ње испупчавају плоче оклона, савијајући се напоље. Лед је продужавао своје полагано или нестклоњиво напредовање. Испушене гвоздене плоче трупа попуцале су по шву. Са треском су летели закивци. У једном тренутку је леви бок паробroда био откинут од кљуна до краја палубе на крми...«

После онога што је речено у овоме чланку, читаоцу мора бити разумљив физички узрок катастрофе.

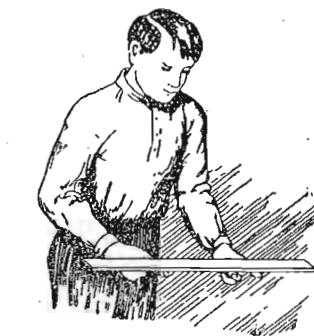
Одатле проистичу и практични закључци за градњу бродова, намењених за пловидбу међу леденим сантама.

Палица која сама долази у равнотежу

Ставите глатку палицу на кахипрсте растављених руку, као што је показано на сл. 24. Крећите тада оба прста у сусрет један другом док се прсти не саставе. Чудна ствар! Показаће се да се у том коначном положају прстију палица неће преврнути, него ће сачувати равнотежу! Чините тај оглед више пута, мењајте првобитни положај прстију, али ће резултат бити увек исти: палица ће бити у равнотежи. Ако уместо палице узмете лењир, штан са дршком, билијарски так, четку за подове, — ви ћете приметити исту појаву.

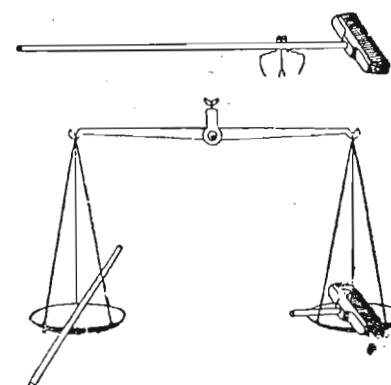
У чему је решење тог неочекиваног завршетка?

Пре свега јасно је следеће: ако се палица налази у равнотежи на прстима који су притиснути један другом, онда је очевидно да су се прсти саставили под тешиштем палице (тело остаје у равнотежи ако вертикална линија, повучена из тешишта, пролази између граница ослонца).



Сл. 24. Оглед са лењиром.
Горе — завршетак огледа

Када су прстји размакнути, веће оптерећење долази на онај прст који је ближе тежишту палице. Са притиском расте и трење; прст, који је ближе тежишту, трпи веће трење него прст који је даље од тежишта. Због тога прст, који је ближе тежишту, не клизи испод палице; креће се увек само онај прст који је даље од те тачке. Чим се прст који се креће нађе ближе тежишту него онај други, прсти мењају своје улоге; такве се промене догађају неколико пута, док се прсти не саставе. И како се сваки пут креће само један прст, и то онај који је даље од тежишта, природно је да се у коначном положају оба прста састану под тежиштем палице.



Сл. 25. Исти експерименат са четком за подове. Шта ће претегнути?

Пре него што са тим експериментом завршите, поновите га са четком за подове (сл. 25, горе) и поставите себи овакво питање: ако бисте расекли четку на оном месту на коме она стоји у равнотежи ослањајући се на прсте, и ако оба дела ставите на разне тасове теразија (сл. 25, доле), који ће тас претегнути — са палицом или са четком?

Рекло би се, ако су оба дела четке држала један другог у равнотежи на прстима, она морају одржати равнотежу и на тасовима теразија. Уствари ће тас са четком претегнути. Није се тешко досетити који је разлог томе, ако се узме у обзир да су тежине оба дела четке, када је она била у равнотежи на прстима, деловале на неједнаким крајевима полузе, на теразијама тежине делују на крајевима полузе са једнаким крајевима.

За »Павиљон занимљиве науке« у Лењинградском парку културе био сам поручио целу гарнитуру палица са разним положајима тежишта; палице су се растави-

љале претежно на два једнака дела баш на оном месту где се налазило тежиште. Стављајући те делове на теразије, посетиоци су се са чуђењем уверавали да је краћи део тежи од дужег дела.



ГЛАВА ТРЕЋА

КРУЖНО КРЕТАЊЕ

Зашто не пада чигра када се окреће?

Од хиљаде људи који су се у детињству забављали чигром, једва да ће један одговорити правилно на то питање. Како се, уствари, објасни то што се наспрот сваком очекивању не преврће чигра у окретању а при том се налази у усправном или чак нагнутом положају? Каква је сила одржава у таквом, рекло би се, нестабилном положају? Зар тежа на њу не делује?

Овде постоји веома интересантно узајамно дејство сила. Теорија у овом случају није једноставна и ми се нећемо у њу удубљивати. Наговестићемо само основни разлог, због кога не пада чигра при окретању.

На сл. 26 је показана чигра која се окреће у правцу стрелица. Обратите пажњу на део *A* њене ивице и на део *B*, који се налази на супротној страни. Део *A* тежи да се окреће од вас, део *B* — к вама. Испи-

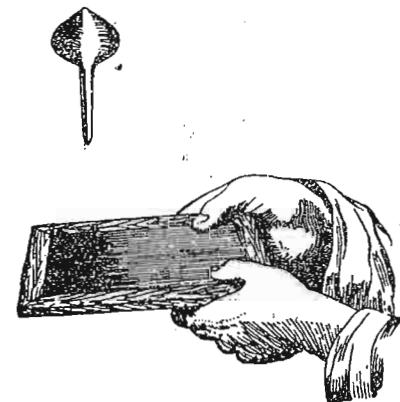


Сл. 26.
Зашто чигра не пада?

тајте сада какво кретање добијају ти делови, када нагнете осовину чигре према себи. Тим ударцем ви присиљавате део *A* да се креће горе, део *B* — доле; оба дела добијају ударац под правим углом на њихово сопствено кретање. Али, како је при брзом окретању чигре веома велика кружна брзина периферских делова диска, то незнатна брзина коју ви дајете чигри, слажући се са великим кружном брзином, даје резултанту, веома близку кружној брзини, — и кретање чигре скоро се не мења. Одатле је разумљиво зашто изгледа као да се чигра одунире покушајима да се преврне. Што је чигра масивнија и што се брже окреће, утолико се упорније супротставља претању.

Суштина тога објашњења је у непосредној вези са законом инерције. Сваки се делови чигре окреће кружно у равни која је перпендикуларна на осовину окретања. По закону инерције сваки делови чигре у сваком тренутку тежи да са кружног кретања пређе на праволинијско, то јест да продужи кретање по тангенти повученој на круг. А свака се тангента налази у истој равни у којој и сам круг; због тога сваки делови тежи да се креће тако како ће стално остати у равни перпендикуларној на осовину окретања. Одатле произлази да све равни чигре, које су перпендикуларне на осовину окретања, теже да сачувају свој положај у простору, па према томе и општа перпендикулара на њих, тј. сама осовина окретања, тежи таксђе да сачува свој правец.

Нећемо разматрати сва кретања чигре која се појављују при дејству спољних сила на чигру. То би захте-



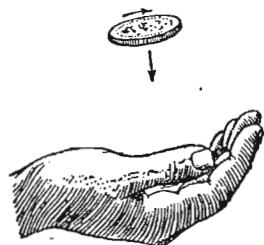
Сл. 27. Чигра која се окреће, бачена у ваздух, задржава првобитни правца своје осовине

вало и сувише детаљна објашњења, која би, вероватно, постала досадна. Хтео сам само да објасним узрок због кога свако тело у окретању тежи да сачува непромењен правца осовине, окретања.

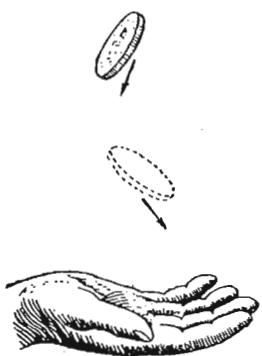
Тим својством широко се користи савремена техника. Разни гироскопски апарати (засновани на принципу чигре) — компаси, стабилизатори и др. — употребљавају се на савременим бродовима и авионима. Тако се корисно примењује, рекло би се, једна обична играчка.

Вештина жонглера

Нешто о жонглерима. Многе чудне вештине њихових разноврсних програма заснивају се такође на особини тела да при окретању задржавају правац осовине окретања. Дозволите ми да наведем одломак из занимљиве књиге енглеског физичара проф. Џона Перса »Чигра која се окреће«.



Сл. 28. Како лети новац који је бачен у ваздух са претходним заокретом око осовине

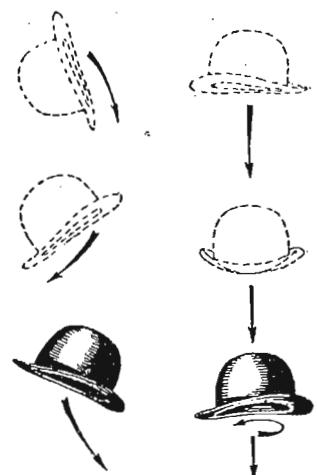


Сл. 29. Новац бачен без окретања пада у положају који зависи од случаја

»Једанпут сам показивао неке моје експерименте пред публиком, која је пила кафу и пушила дуван у прекрасној просторији концертне сале »Викторија« у Лондону. Трудио сам се да заинтересујем своје слушаоце колико сам могао; говорио сам о томе како обруч морамо претходно завртeti, ако желимо да га бацимо тако да уна пред можемо рећи где ће пасти; баш тако се и поступа

кад се некоме баци шешир тако да га он може ухватити на штап. Увек се може поуздати у отпор који ће показати тело у окретању, када нешто делује на правац његове осовине. Даље сам објашњавао својим слушаоцима да не треба никада рачунати са тачношћу гађања, ако се у глача цев топа; због тога се сада и праве нарезане цеви, тј. на унутрашњој страни топовске цеви урежу се спирални жлебови у које улазе испупчења на ћулету или гранати тако да она мора да добије кружно кретање када је снага експлозије барута присили да се креће кроз топовску цев. Захваљујући томе граната излази из топа са тачно одређеним кретањем око своје осовине.

То је било све што сам могао да учним за време тога предавања, јер ја нисам вешт у бацању шешира или обруча. Али, кад сам завршио своје предавање, на подијум су изашла два жонглера, и ја нисам могао пожелети бољу илустрацију горепоменутих закона, него што је она коју је пружала свака поједина тачка те двојице артиста. Они су један другоме бацали шешире који су се окретали, обруче, тањире, кишобране... Један је жонглер бацао у ваздух цели низ нојева, опет их хватао и поново бацао у вис са великим тачношћу. Моји слушаоци, који су управо чули објашњење тих појава, били су усхићени од задовољства; они су примењивали окретање, које је жонглер давао сваком ноју, бацајући га из руке тако да је могао тачно знати у каквом ће му се положају ној поново вратити. Ја сам тада био изненађен тиме што су скоро све жонглерске вештине, показане те вечери, без изузетка представљале илустрацију гореизложеног принципа.«



Сл. 30. Бачени шешир је лакше ухватити ако му је дато и окретање око његове осовине

Ново решење Колумбовог задатка

Свој чувени задатак — како да се јаје постави да стоји усправно — Колумбо је решио и сувише просто: сломио је његову љуску.¹⁷

Такво је решење, у суштини, неисправно: сломивши љуску јајета, Колумбо је изменио његову форму и, према томе, није поставио јаје него друго тело, јер је сва суштина задатка у форми јајета: менјајући форму, ми замењујемо јаје другим телом. Колумбо није дао решење за оно тело за које се решење тражило.

Међутим, ако искористимо принцип чигре, задатак великог морепловца може се решити а да се форма јајета и ненуколико не изменi.

Довољно је довести јаје у кружно кретање око његове дуже осовине, и оно ће стајати неко време, не преврћући се, на тупом или чак на оштром врху. Како то треба учинити — приказано је на слици: јајету се прстима да кружно кретање. Одмакнувши руке ви ћете видети да се јаје неко време и даље окреће стојећи усправно: задатак је решен.

За експерименат је неопходно да се узму кувана јаја. Ово ограничење не противречи услову Колумбовог задатка: када је поставио задатак Колумбо је узео јаје са стола, а на сто, ваља претпостављати, нису била донета некувана јаја. Тешко ћете успети да вам се некувано јаје окреће у усправном положају, јер се течна маса јајета у том случају појављује као кочница. У томе се,

¹⁷ Ваља приметити, уосталом, да популарна легенда о Колумбовом јајету нема историске подлоге. Приписано се чувеном морепловцу оно што је много рације учинила друга особа и потпуно другим поводом, — то јест италијански архитект Брунелески (1377—1446), градитељ огромне куполе флорентинске катедrale (»Моја ће купола стајати тако сигурно као што стоји ово јаје на свом врху!«).



Сл. 31. Решење Колумбовог задатка: јаје се врти стојећи на врху

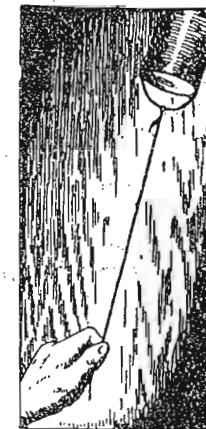
усталом, састоји и прости начин да се разликују некувана јаја од тврдо куваних — начин, који је познат многим домаћицама.

Уништена тежина

»Вода се не просипље из посуде која се окреће, — не просипље се чак ни онда када се посуда преврне дном горе, јер томе смета окретање«; — писао је пре две хиљаде година Аристотел. На сл. 32 приказан је тај ефектички глед, који је, без сумње, познат многима: окрећући довољно брзо ведро с водом, као што је показано на слици, ви ћете постићи да се вода не излије чак ни на оном делу пута на коме је ведро окренуто дном горе.

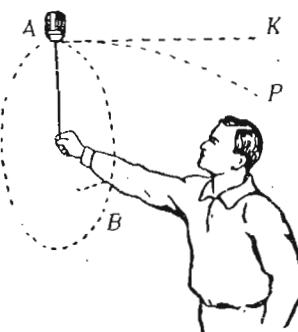
У свакодневном животу уобичајено је да се та појава објашњава »центрифугалном силом«, схватавајући под тим једну замисаљену силу која као да делује на тело и условљава његову тежњу да се удаљи од центра окретања. Та сила не постоји: поменута тежња није ништа друго него појава инерције, а свако се кретање по инерцији дешива без учешћа силе. У науци се под центрифугалном силом подразумева нешто друго, — то јест: она реална сила којом тело у окретању затеже узицу за коју је везано, или којом врши притисак на свој криволинијски пут. Та сила не делује на тело које се креће, него на препреку која га спречава да се праволинијски креће: на узицу, на шине које се налазе на окуци итд.

Осврнимо се на ведро које се окреће и покушајмо да схватимо узрок те појаве, не прибегавајући уопште двосмисленом појму »центрифугалне силе«. Поставимо себи питање: у коме ће правцу потећи водени млауз, ако на ведру направимо отвор са стране? Кад не би било силе



Сл. 32. Из преокренутог ведра вода се не просипље ако се ведро на узици окреће довољном брзином

теже, млаз би по инерцији имао правац тангенте AK , повучене на круг AB (сл. 33). Тежа присиљава водени млаз да пада и да опише криву (параболу AP). Ако је кружна брзина довољно велика, та би крива лежала изван круга AB . Млаз нам открива онaj пут по коме би се при окретању ведра кретала вода кад јој не би сметало ведро које на њу врши притисак. Сада је разумљиво



Сл. 33. Зашто се не излева вода из ведра које се окреће?

Израчунате сада каквом је брзином потребно у том експерименту окретати ведро, па да се вода из њега не просипа. Та брзина мора бити таква да центрипетално убрзање ведра које се окреће не буде мање од убрзања силе теже: тада ће пут, по коме ће вода тежити да се

креће, лежати изван круга који описује ведро и вода се неће нигде од ведра одвојити. Формула за израчунавање центрипеталног убрзања W је следећа

$$W = \frac{v^2}{R}$$

где је v — кружна брзина, R — радиус кружног пута. Како је убрзање силе теже на земљиној површини $g = 9,8 \text{ м/сек}^2$, то имамо неједначину:

$$\frac{v^2}{R} \geq 9,8.$$

Ако претпоставимо да је R једнако 70 цм, онда је

$$\frac{v^2}{0,7} \geq 9,8 \quad \text{и} \quad v \geq \sqrt{0,7 \times 9,8}; \quad v \geq 2,6 \text{ м/сек.}$$

Лако је срачунати да је потребно, да би се добила таква кружна брзина, учинити ружом око један и по окрет у секунди. Таква је брзина окретања потпуно изводљива и отлед лако успева.

Способност течности да се приљуби уз зидове посуде, у којој се она окреће око хоризонталне осовине, искоришћује се у техници за такозвано центрифугално ливење. При томе је од битног значаја то што се разнородна течност раздваја по специфичној тежини: тежи саставни делови распоређују се даље од осовине окретања, лакши делови заузимају место ближе осовине. Услед тога сви гасови, који се садрже у растопљеном металу и образују такозване »шкољке« у ливеном предмету, издвајају се из метала на унутарњу страну изливеног предмета. Израде које су направљене на тај начин јаче су и немају шкољки. Центрифугално ливење је јефтиније од обичног ливења под притиском и не изискује компликоване уређаје.

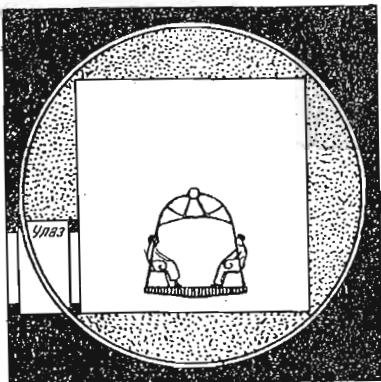
Ви у улоги Галилеја

За оне који воле јаке емоције постоји у многим градовима веома оригинална разонода — такозвана »ђавоља љуљачка«. Била је така љуљачка и у Лењинграду. Ја лично нисам имао прилике да се на њој љуљам и стога ћу навести овде њен опис из Федоовог зборника научних забава:

Ђуљачка је обешена на јаку хоризонталну греду која је постављена преко собе на извесној висини од пода. Када сви седну, послужитељ, који је нарочито зато постављен, затвара улазна врата, склања даску која је служила за улаз и, објавивши да ће одмах пружити могућност гледаоцима да учине мање ваздушно путовање, почиње иолако да љуља љуљачку. А затим и сам седа назад на љуљачку слично кочијашу на задњем седишту или потпуно излази из сале.

Међутим, замахивања љуљачке постају све већа и већа; она се, како изгледа, диже до висине греде, затим прелази преко ње све више и више и коначно описује

потпун круг. Кретање се убрзава све притетније и они који се љуљају, иако су већином упозорени, имају несумњиво осећање љуљања и брзог кретања; њима се чини да они јуре кроз простор, тако да се и нехотице хватају за наслоне од столица да не би пали.



Сл. 34. Схема конструкције »ђавоље љуљачке«

причвршћен уз под или зидове сале; лампа, која је заљемљена за сто, јер се, како изгледа, може лако преврнути; уствари је електрична сијалица, која је сакривена под великом абажуром. Поступитељ, који је, како се чинило, заљуљао љуљачку да јући јој лаке замахе, само их је уствари ускладио са лаким љуљањима сале и правио тако утисак као да замахује љуљачком. Цела ситуација доприноси пуном успеху обмане.«

Тајна илузије је, као што видите, смешно једноставна. Па ипак, ако би се сада, кад већ знаете у чему је ствар, нашли на »ђавољој љуљачки«, ви бисте неизбежно подлегли обмани. Таква је снага илузије!

Сећате ли се Пушкинове песме »Кретање?«

— Кретања нема, — рече мудрац брадати.¹⁸
Други¹⁹ ођута — и поче пред њим ходати.
Снажније му није могао одговорити.

¹⁸ Грчки филозоф Зенон Егејски (V век пре наше ере), који је учио да је све у свету непокретно и да се нама, услед обмане чула, само чини као да се неко тело креће.

¹⁹ Диоген.

Хвалили су сви тај одговор духовити.
Али, господо, забавни случај тај
Пример ми други у сећање доводи:
Гле, сваки дан над нама сунце ходи.
Па ипак има право упорни Галилеј!

Кад бисте се нашли у љуљачки, међу другима који су непосвећени у њену тајну, ви бисте били Галилеј своје врсте, само у обрнутом смислу: Галилеј је доказивао да су Сунце и звезде непокретни а да се окрећемо сами ми, насупрот оном што се чини да је очевидно; а ви ћете доказивати да смо непокретни ми и да се цела соба окреће око нас. Могуће је да бисте и ви морали искористити тужну судбину Галилејеву: на вас би гледали као на человека који оспорава оно што је очевидно ...

Мој спор са вама

Не би вам било тако лако доказати да сте у праву, као што ви, можда, претпостављате. Замислите, да сте се стварно нашли на »ђавољој љуљачки« и да хоћете да убедите ваше суседе како су они у заблуди. Предлажем вам да уђете са мном у ту препирку. Сешћемо заједно на »ђавољу љуљачку«, сачекаћемо тренутак да она почне, пошто се заљуља, да привидно описује пуне кругове и почећемо дискусију о томе шта се окреће: љуљачка или цела соба? Молим вас само да имате у виду да за време дискусије не можемо напуштати љуљачку; све што је потребно узећемо благовремено са собом.

В. Како се може сумњати у то да смо ми непокретни и да се окреће соба. Кад би се наша љуљачка стварно скренула дном горе, ми не бисмо висили главом доле него бисмо из ње испали. Али ми, као што видите, не падамо. Дакле, не окреће се љуљачка него соба.

Ј. Ипак, сетите се, да се вода не просипље из ведра које се брзо окреће, иако се оно окреће дном према горе (стр. 59). Бициклист на »ђавољој петљи« (види даље стр. 71) такође не пада, иако се вози главом окренутом доле.

В и. Ако је тако, израчунајмо центрипетално убрзање и уверимо се да ли је оно довољно да ми не испаднемо из љуљачке. Знајући нашу удаљеност од осовине окретања и број окретаја у секунди, лако ћемо одредити по формулама...

Ј а. Не трудите се да рачунате. Знајући за наш спор, конструктори »ђавоље љуљачке« упозорили су ме да ће број окретаја бити потпуно довољан да се појава објасни по моме тврђењу. Према томе, израчунавање неће решити наш спор.

В и. Ипак, ја нисам изгубио наду да ћу вас убедити. Видите, вода се из ове чаше не пролева на под... Уосталом, ви ћете се и ту позвати на експеримент са ведром које се окреће. Добро: ја држим у руци висак, — он стално виси према нашим ногама тј. доле. Кад би се окретали ми, а соба оставала непокретна, висак би стално био окренут према поду, — тј. пружао би се час према нашим главама час у страну.

Ј а. Варате се: ако се окрећемо са довољном брзином, онда се и висак мора стално одбијати од осовине дуж радиуса окретања, тј. према нашим ногама, као што ми и видимо.

Крај нашега спора

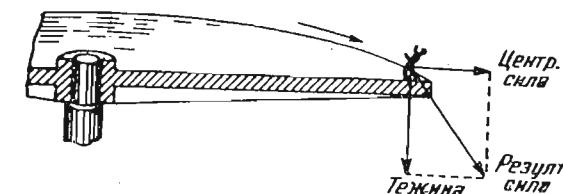
А сад ми дозволите да вас посаветујем како ћете победити у овом спору. Треба узети са собом на »ђавољу љуљачку« спиралну вагу, ставити на њен тас тег, на пример од 1 кг и посматрати положај стрелице: она ће стално показивати једну исту тежину тега и то један килограм. То је доказ да се љуљачка не креће.

Уствари: ако бисмо ми заједно са спиралном вагом описивали кругове око осовине, онда би на тег, осим сије теже, дејствовала такође центрифугална сила, која би у доњим тачкама пута повећавала тежину тега, а у горњем би је умањавала. Ми бисмо морали запазити да тег час постаје тежи, час не тежи ништа. А како то не запажамо, значи да се не окрећемо ми него соба.

У »зачараној« кули

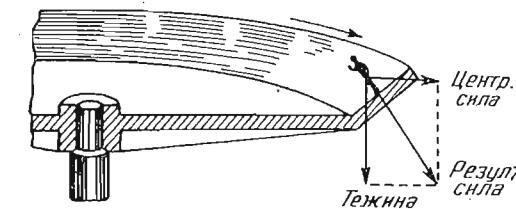
Један предузимач у Америци изградио је за разоноду публике веома забавну и поучну вртешку у облику кугласте собе, која се окреће. Јуди у њој доживљаву такве необичне осећаје за које ми сматрамо да су могући само у сну или у чаробној бајци.

Сетимо се најпре шта осећа човек на кружној платформи која се брзо окреће.



Сл. 35. Шта осећа човек на крају платформе која се окреће

Кружно кретање тежи да избаци човека напоље; што даље стојите од центра, утолико ће вас снажније нагибати и вући напоље. Ако затворите очи, вами ће се чинити да не стојите на хоризонталном поду, него на косој равни на којој с муком одржавате равнотежу. То ће постати јасно када погледамо које ту силе делују на наше тело (сл. 35). Дејство окретања вуче наше тело напоље, тежа вуче доле; оба се кретања слажу по правилу паралелограма и дају резултанту силу, која је косо напољута доле. Што се платформа брже окреће, то је резултантна сила већа и има већи нагиб.



Сл. 36. Човек стабилно стоји на косом рубу платформе која се окреће

А сада замислите да је крај платформе издигнут косо горе и да ви стојите на том косом делу (сл. 36). Ако је платформа непокретна, ви се у том положају нећете одржати, него ћете склизнути или се чак преврнути. Друга је ствар ако се платформа окреће: тада ће та стрма раван постати за вас при извесној брзини као хоризонтална, јер ће резултантта обе силе које делују на вас имати такође коси правац, под правим углом на нагнуту део платформе.²⁰

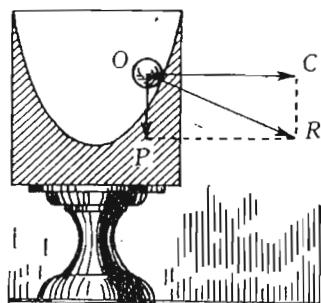
Ако се платформи која се окреће да таква кривина да при одређеној брзини њена површина буде у свакој тачки перпендикуларна на резултантту силе, онда ће се

човек који се налази на њој осећати на свима њеним тачкама као на хоризонталној равни. Математским израчунавањем је нађено да је таква крива површина — површина нарочитог геометријског тела параболоида. Она се може добити ако се око вертикалне осовине брзо окреће чаша у коју је до половине насuta вода: тада се вода на крајевима диже увис а у центру спушта и њена површина добија форму параболоида.

Сл. 37. Ако се овај пехар окреће са довољном брзином, кугла се неће скотрљати на његово дно

Ако се уместо воде у чашу наспе растопљен восак и ако се окретање врти све дотле док се восак не стврдне, онда ће нам његова стврднута површина дати тачан облик параболоида. При одређеној брзини окретања тешка тела се понашају на таквој површини једнако као на хоризонталној површини у мирном стању: куглица, стављена на било коју њену тачку, неће се скотрљати доле, него остаје на истом месту (сл. 37).

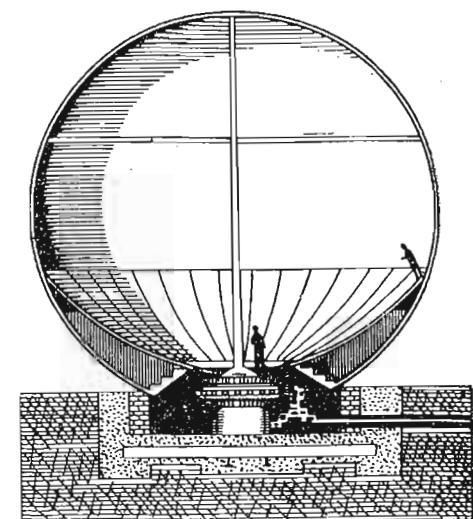
²⁰ Приметимо узгред да то објашњава зашто се на окукама жеlezничке пруге поставља спољна шина навише од унутарње, а такође и зашто се на страну нагиње стаза за бицикле и мотоцикле и зашто тркачи-профессионалици могу да возе по стрмо нагнутом кругложном патосу.



Сл. 37. Ако се овај пехар окреће са довољном брзином, кугла се неће скотрљати на његово дно

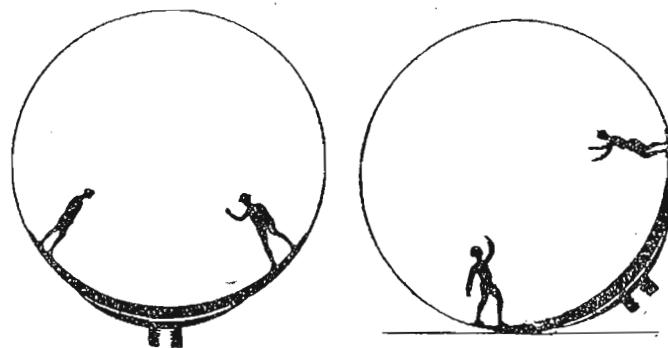
Сада ће се лако разумети конструкција »зачаране« кугле. Њено је дно (сл. 38) велика платформа која се окреће и којој је дата кривина параболоида. Иако је окретање, захваљујући механизму сакривеном испод платформе, ванредно полако, ипак би људи на платформи осећали вртоглавицу ако се предмети који их окружавају не би кретали заједно с њима. Да посматрач не би могао открити кретање, покретна се платформа ставља у велику куглу са непровидним зидовима, која се окреће истом брзином као и сама платформа.

Таква је конструкција те вртешке која носи назив »зачаране« или »чаробнене« лопте. Шта осећате кад се нађете на платформи у унутрашњости лопте? Када се она окреће, испод ваших ногу под је хоризонталан, ма на којој се тачки криве платформе налазили, — код осовине, где је под стварно хоризонталан, или на крају, где је нагнут за 45° . Очи јасно виде угнутост, а осећај мишића сведочи да је испод вас равно место. Оба осећаја потпуно противрече једај другоме. Ако бисте прешли с једног краја платформе на други, вама би се учинило као да се цела огромна кугла са лакоћом сапунског меухура претурила на другу страну под тежином вашега тела, јер се у свакој тачки ви осећате као на хоризонталној равни. А положај других људи, који стоје косо на платформи, мора вам изгледати крајње необичан: вама ће се буквално чинити да људи као мухе ходају по зидовима (сл. 39).



Сл. 38. »Зачарана« кугла (пресек)

Вода проливена на под зачаране кугле разлила би се у раван слој по кривој површини пода. ЈБудима би се чинило да вода пред њима стоји као коси зид.



Сл. 39. Какав је прави положај људи у «зачараној» кугли (лево) и како он изгледа сваком од двојице посетилаца (десно)

Уобичајене претставе о законима теже као да се мењају у тој заиста зачараној кугли, и ми се преносимо у свет чудеса из бајке...

Слична осећања преживљује на заокретима авијатичар који јури са великим брзином. Ако, на пример, лети брзином од 200 км на сат по луку са радиусом од 500 м, њему се мора чинити²¹ као да се земља подигла и да је нагнула под углом од 16°.

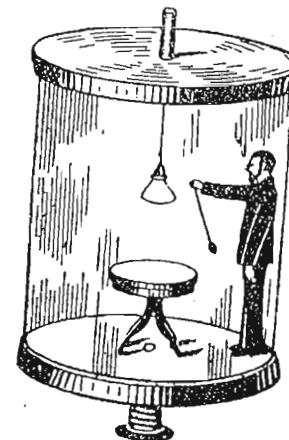
У Немачкој, у граду Гетингену, направљена је ради научних испитивања слична лабораторија која се окреће. То је (сл. 40) цилиндрична соба са пречником од 3 м, која се окреће брзином од 50 окретаја у секунди. Како је под собе раван, при окретању се чини ономе ко стоји поред зида, као да се соба нагнула назад и да он сам упала лежи на косом зиду (сл. 41).

Течни телескоп

Код рефлекторних телескопа за огледала је најбоља параболична форма, тј. баш она форма коју задебија течност при окретању посуде. Конструктори телескопа

²¹ Види «Занимљиву механику», Гл. V.

губе много тешкога рада да би огледалу дали такав облик. Брушење огледала за телескоп траје годинама. Амерички физичар проф. Вуд заобишао је те тешкоће направивши течно огледало: вртећи живу у ши-



Сл. 40. Лабораторија која се окреће — стварни положај

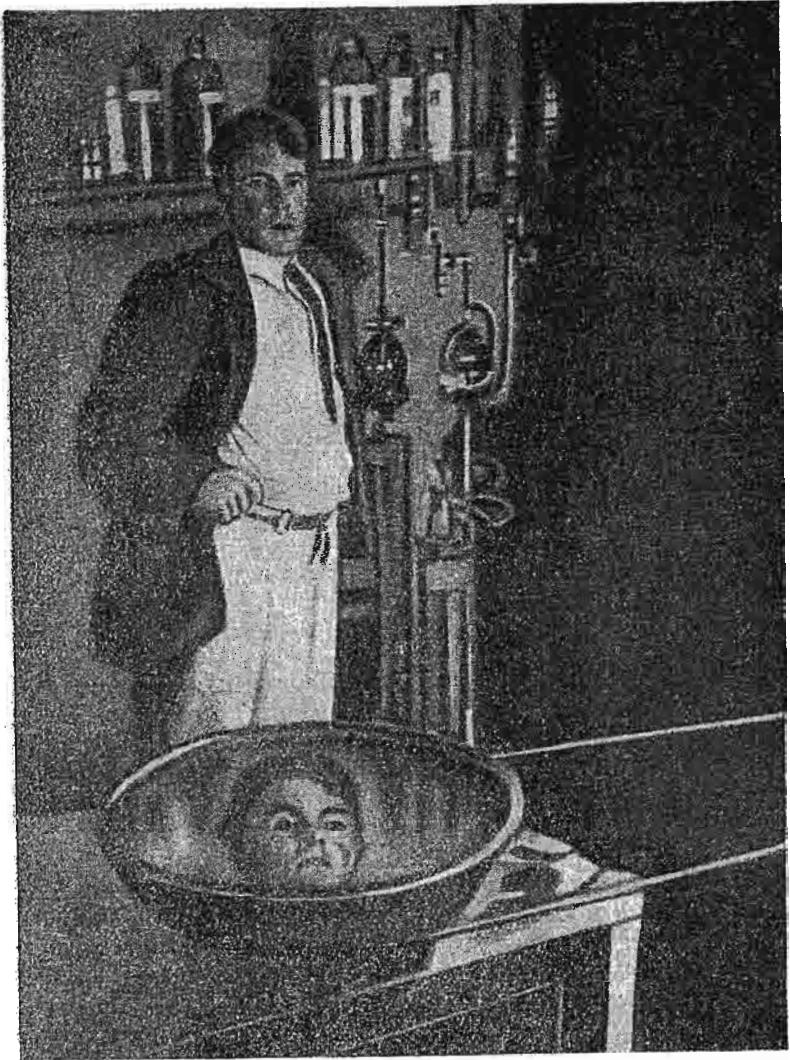


Сл. 41. Привидни положај исте лабораторије у окретању

роју посуди он је добио идеалну параболичну површину, која је могла играти улогу огледала, јер жива добро одбија светлосне зраке. На сл. 42 је приказан тај Вудов телескоп. Види се вод који окреће посуду са животом и слика Вудовог лица. Телескоп ипак има тај недостатак, што и најмањи ударац набира површину течног огледала и искривљује слику, и што се са хоризонталним огледалом могу непосредно посматрати само оне звезде које се налазе у зениту.

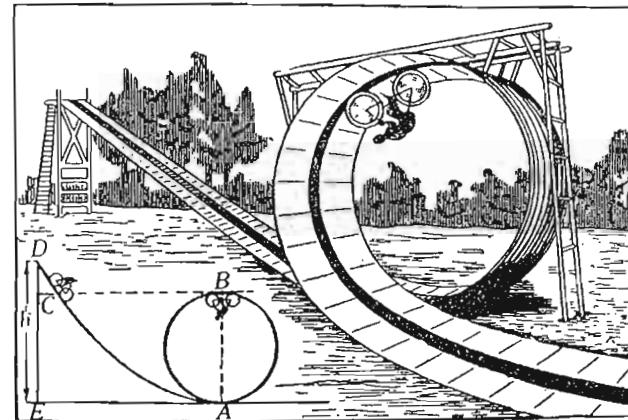
»Ђавоља петља«

Можда вам је познат вртоглави бициклистички трик, који се понекад изводи у циркусима: бициклист направи петљу одоздо према горе и опише пун круг, без обзира



Сл. 42. Течно огледало телескопа. Поред њега — Вуд

на то што се по горњем делу круга вози главом окренутом доле. На арени се направи дрвена стаза у облику петље са једним или са више завијутака, као што је приказано на нашој сл. 43. Артист се спушта на бициклилу по стрмом делу петље, затим брзо узлеће на своме гвозденом коњу увис, по њеном кружном делу, начини пун окрет буквално главом доле и срећно слизи на земљу.²²



Сл. 43. »Ђавоља Петља«. Лево доле: шема за израчунавање

Ова се вратоломна бициклистичка вештина чини гледаоцима као врхунац акробатске уметности. Престрављена публика пита се у недоумици: каква тајанствена сила држи тога смелог човека главом окренутом доле? Неповерљиви људи готови су да ту помишљају на вешту обману, а међутим у тој вештини нема ничег натприродног. Она се потпуно објашњава законима механике. Билијарска кугла, пуштена по тој стази, извела би исту вештину са не мањим успехом. У школским физичким кабинетима налазе се минијатурне »ђавоље петље« код којих се по стази пушта мала куглица. У већој размери таква мртва петља са куглом показивала се у лењинградском »Павиљону занимљиве науке« у ЦПКО.

²² »Ђавољу петљу« су пронашли 1902. г. истовремено два циркуска артиста — »Диаволо« (Џонсон) и »Мефисто« (Ноазет).

Чувени проналазач и извођач тога трика, артист »Мефисто«, имао је ради испитивања јачине »ђавоље петље« тешку куглу, чија је тежина била равна тежини артисте заједно са бициклом. Та је кугла пуштана по стази и ако би она успешно прешла преко петље, артист се решавао да и сам то учини.

Читалац се, наравно, досетио да је узрок ове чудне појаве исти којим се објашњава општепознати експеримент са ведром које се окреће (стр. . .). Ипак, ова вештина увек не успева; неопходно је тачно израчунати висину са које бициклест мора отпочети своје кретање, иначе ће се трик завршити катастрофом.

Математика у циркусу

Знам да низови »немилосрдних« формула плаше понеке љубитеље физике, али, одбијајући да се упознају са математском страном појава, такви се непријатељи математике лишавају задовољства да унапред предвиђају ток појаве и да одређују њене услове. На пример, у датом случају, две три формуле помоћи ће нам да тачно одредимо под којим се условима могу успешно извршити тако чудне вештине као што је вожња кроз »ђавољу петљу«.

Приступимо рачуну.

Означимо словима оне величине са којима ћемо рачунати:

словом h означимо висину са које се спушта бициклест;

словом x означимо онај део висине h , који се налази изнад највише тачке »петље«; из сл. 43 се види да је $x = h - AB$;

словом r означимо радиус круга петље;

словом t — масу артисте заједно са бициклом; њихова ће се тежина изразити са mg , при чему је:

словом g означене убрзање сиље земље и не теже; оно је равно, као што је познато, 9,8 м у сек. сек;

словом v означимо брзину бицикла у часу када достиже највишу тачку круга.

Све те величине можемо повезати двема једначинама. Прво, ми знамо из механике да је брзина коју добија бицикл у часу када се налази у тачки C , на висини тачке AB (тј. је положај показан у дну сл. 43), једнака са брзином коју он има на највишој тачки петље, тј. у тачки B . Прва се брзина изражава формулом²³:

$$v = \sqrt{2gx}, \text{ или } v^2 = 2gx.$$

Према томе је и брзина v бицикла у тачки B равна

$$\sqrt{2gx}, \text{ тј. } v^2 = 2gx.$$

Даље, да бициклест, пошто достигне највишу тачку кружнога пута, не би пао доле, потребно је (упореди стр. . .) да центрипетално убрзање, које се при томе развија, буде веће него убрзање теже, тј. потребно је да је

$$\frac{v^2}{r} > g \text{ или } v^2 > gr.$$

А ми већ знамо да је $v^2 = 2gx$, те према томе мора бити

$$2gx > gr \text{ или } x > \frac{r}{2}.$$

Тако смо, дакле, сазнали да је за успешно извођење ове вратоломне вештине потребно направити »ђавољу петљу«, тако да врх стрмог дела пута буде изнад највише тачке петље за више од $\frac{1}{2}$ њеног радијуса, или за више од $\frac{1}{4}$ њеног пречника. У овај рачун није утицај трења: рачунало се да су брзине у тачки C и тачки B једнаке. Због тога не треба сувише продужавати пут нити правити спуштања са веома благим нагибом. Код благог спуштања услед трења, брзина бицикла у тачки B биће мања него у тачки C . Ако, на пример, петља има у пречнику 16 м, артист мора отпочети своје спуштање са висине не мање од 20 метара. Ако не испуни тај услов

²³ При томе занемарујемо енергију точкова који се окрећу; та околност неизнатно утиче на резултат рачуна (види моју књигу »Дали знаете физику?«, § 47).

— никаква му вештина неће помоћи да опише »ђавољу петљу«: не достигнувши до њене највише тачке он ће неминовно пасти.

Треба напоменути да се при извршењу овога трика бициклист вози без ланца, препуштајући бицикл сили теже: он не може ни убрзати ни успорити своје кретање, чак и не треба да то чини. Сва је његова вештина у томе да се држи средине дрвене стазе; при најмањем скретању артист рескира да сиђе са стазе и да буде одбачен у страну. Брзина кретања по кругу је веома велика: код круга са пречником од 16 м бициклист учини пун окрет за 3 секунде. То одговара брзини од 60 км на сат. Наравно да је управљање бициклом при таквој брзини вештина, али то и није потребно; може се слободно ослонити на законе механике. »Бициклистички трик, — читамо у брошури коју је саставио један професионалац²⁴ — сам по себи није опасан при правилном прорачуну и јакој конструкцији апаратса. Опасност трика се налази у самом артисти. Ако његова рука задрхти, ако он буде узбуђен, ако изгуби владање самим собом, ако му изненада дође несвестица, може се очекивати све.«

На томе закону почива свима позната »мртва петља« и друге фигуре вишег пилотирања. У »мртвој петљи« прворазредну улогу игра правилни »залет« пилота по кривој и зналачко управљање мотором.

Мањак у тежини

Неки је шаљивција једном објавио да зна начин како ће без преваре врати на мери. Тајна се састоји у томе: да се роба купује у екваторијалним земљама, а да се продаје близу полова. Одавно се зна да ствари имају мању тежину близу екватора него близу полова; 1 кг пренесен са екватора на пол добија у тежини 5 гр. При томе је потребно служити се спиралном а не обичном вагом, и то таквом која је направљена на екватору (тј. којој је тежинска скала израђена на екватору), иначе неће бити никакве добити: роба ће постати тежа, али ће

²⁴ Бостонс, Бициклистичке атракције.

исто толико бити тежи и тегови. Ако се купи тона злата негде у Перу и прода, рецимо, на Исланду, може се на томе штогод и зарадити, — наравно, ако је превоз бесплатан.

Не мислим да би таква трговина могла неког обогатити, али је у суштини шаљивција имао право: сила тежа се заиста повећава са удаљавањем од екватора. То долази отуда што тела на екватору, при земљином окретању, описују највеће кругове, а такође и отуда што је земљина кугла на екватору мало проширења.

Главни део разлике у тежини условљен је земљиним окретањем; оно смањује тежину тела у близини екватора за $\frac{1}{290}$ део у упоређењу са тежином истог тела на половима.

Разлика у тежини при преносу тела са једне географске ширине на другу незнатна је код лаких тела. Али код тешких предмета, она може бити прилично велика. Ви нисте ни помишљали, на пример, да локомотива која у Москви тежи 60 тона, постаје по доласку у Архангелск 60 кг теша, а по доласку у Одесу исто толико лакша. Са Шпицбершких Острва извози се сваке године у јужније луке до 300.000 тона угља. Кад би та количина била додржана у неку екваторијалну луку, тамо би се показао мањак од 1.200 тона, ако би се товар измерио при пријему на спиралној ваги довезеној са Шпицберга. Линијски брод, који је у Архангелску тежак 20.000 тона, по доласку у екваторијалне воде постаје лакши за 80 тона; али то састаје неосетно, јер су у одговарајућој мери лакша и сва друга тела, не искључујући, наравно, ни воду у океану.²⁵

Кад би се земљина кугла окретала око своје осовине брже него сада, — на пример кад дан не би трајао 24 часа, него, рецимо, 4 часа, онда би разлика у тежини тела на екватору и половима била приметно већа. У таквом случају терет који би на полу тежио 1 килограм на екватору би био тежак свега 875 грама. Приближно

²⁵ Због тога, између осталог, брод тоне у екваторијалним водама исто толико дубоко као и у поларним: он, истинा, постаје лакши, али исто толико постаје лакша и вода коју он истискује.

су баш такви услови теже на Сатурну: на тој су планети у близини полова сва тела тежа за $\frac{1}{6}$ него на екватору.

Како центрически убрзање расте сразмерно квадрату брзине, то није тешко израчунати при којој брзини окретања оно мора на земљином екватору постати 290 пута веће, тј. изједначити се са силом теже. То ће наступити при брзини која је 17 пута већа од садашње ($17 \times 17 =$ скоро 290). Тада би се сила тежа потпуно трошила само на то да задржи тела на кружном путу и да им не допусти да се крећу ван његових граница. Код таквог стања ствари тела ће престати да врше притисак на своје ослонце. Другим речима, кад би се Земља окретала 17 пута брже, ствари на екватору уопште не би имале тежине! На Сатурну би то наступило при брзини окретања која би била свега $2\frac{1}{2}$ пута већа од садашње.



ГЛАВА ЧЕТВРТА

ГРАВИТАЦИЈА

Да ли је велика привлачна сила?

Кад не бисмо свакога часа посматрали падање тела, оно би за нас било најчуднија појава — писао је чувени француски астроном Араго. Навика чини да нам изгледа природном и обичном појавом то што Земља привлачи себи све предмете на њој. Али кад нам се каже да се и предмети такође између себе узајамно привлаче, ми нисмо склони да верујемо у то, јер се у свакодневном животу ништа слично не примећује.

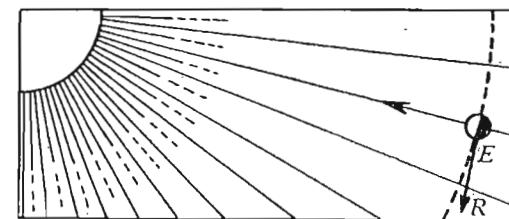
Зашто се, уствари, закон опште гравитације не појављује стално око нас под обичним приликама? Зашто ми не видимо да се узајамно привлаче столови, лубенице, људи? То је због тога што је код малих предмета привлачна сила ванредно мала. Навешћу очигледан пример. Два човека, који се налазе на два метра један од другог, узајамно се привлаче, али је сила којом се привлаче беззначајна: она је за људе средње тежине мања од $\frac{1}{100}$ милиграма. То значи да два човека привлаче један другог истом силом којом тер од стохијадитог дела грама притискује тас ваге; само су ванредно осетљиве ваге научних

лабораторија способне да покажу тако ништаван терет! Таква нас сила, разумљиво, не може покренути с места, — томе смета трење наших ћонова о под. Да бисмо били помакнути с места, на пример, на дрвеном поду (сила трења ћонова о под износи 30% тежине тела), потребна је сила не мања од 20 кг. Смешно је чак и упоређивати ту силу са ништавном привлачном силом од $\frac{1}{100}$ милиграма. Милиграм је хиљадити део грама; грам је хиљадити део килограма: dakле, 0,01 милиграма претставља половину једног милиардитог дела оне сile, која је потребна да нас покрене с места. Да ли је чудно, што при обичним условима не примећујемо ни најмањег напомештаја узајамног привлачења тела на земљи?

Друга је ствар кад трења не би било; тада не би ништа сметало чак ни слабој привлачној сили да изазове приближавање тела. Али би при сили од 0,01 милиграма близина тога приближавања људи морала бити савршено беззначајна. Може се израчунати да би се, при отсуству трења, два човека, који се налазе на растојању од 2 м, приближили један другоме у току првога сата за 3 цм; у току следећег сата би се приближили још за 9 цм; у току трећега сата још за 15 цм. Кретање би се убрзувало, али би се оба човека потпуно приближила тек после пет часова.

Привлачење тела на земљи може се испољити у оним случајевима, у којима сила трења не претставља препреку, тј. у случајевима равнотеже тела. Терет, обешен о конац, налази се под дејством земљине сile теже и због тога конац има вертикалан правац; али ако се у близини терета налази неко масивно тело, које привлачи терет себи, конац ће мало скренути из вертикалног положаја и узети правац резултанте сile земљиног привлачења и привлачења другог тела, релативно веома слабог. Такво отклањање виска у близини велике планине запазио је први пут 1775 године Маскелайн у Шкотској; он је упоредио правац виска са правцем усмереним према полу звезданог неба и то са две стране једне исте планине. Савременији експерименти са привлачењем тела на земљи изведени су доцније помоћу вага нарочите конструкције, и они су омогућили да се тачно измери сила привлачења.

Привлачна сила која постоји између малих маса је беззначајна. Са увећавањем маса расте и она пропорционално томе увећању. Али су многи склони да преувеличавају ту силу. Један научник, истина не физичар него зоолог, покушавао је да ме увери да узаемо привлачење које се често запажа између бродова на мору изазва сила гравитације! Израчунавањем није тешко показати, да је ту привлачење без значаја: два линијска брода, од по 25.000 тона сваки, на растојању од 100 метара, привлаче један другог силом од свега 400 грама. Разуме се да је таква сила недовољна да бродове у кретању и најмање привуче. Прави разлог загонетног привлачења бродова објаснићемо доцније у глави о "својствима течности".



Сл. 44. Привлачна снага Сунца искривљује Земљин пут E . Услед инерције земљина кугла тежи да одјури по тангенти ER

Беззначајна за мале масе, привлачна сила постаје веома осетна када се ради о колосалним масама небеских тела. Тако нам чак и Нептун, планета која је од нас страшно удаљена и која полако кружи скоро на крају сунчаног система, шаље свој »поздрав« привлачећи Земљу силом од 18 милиона тона! И поред огромног растојања које нас одваја од Сунца, Земља остаје на свом кружном путу једино услед сile привлачења. Кад би сила сунчевог привлачења из било ког разлога ишчезла, Земља би полетела по тангенти повученој на њен кружни пут и заувек би одјурила у бездану дубину свемирског простора.

Челични конопац од Земље до Сунца

Замислите да је снажно сунчево привлачење због нечега стварно ишчезло и да Земљу очекује тужна судбина да се заувек удаљује у хладне и мрачне пустине васионе. Замислите, — а ту је потребна фантазија, — да су инжињери решили да, тако рећи, невидљиве ланце привлачне сile замене материјалним везама, тј. да су простио намислили да Земљу вежу са Сунцем јаким челичним конопима, који би морали задржати земљину куглу на кружном путу у њеном окретању око Сунца. Шта може бити јаче од челика, који је способан да издржи напрезање од 100 кг на сваки квадратни милиметар? Замислите снажни челични стуб са пречником од 5 км. Површина његовог пресека има округло 20.000.000 кв. м; према томе такав би се стуб раскинуо тек под дејством терета од 2.000.000.000 кг или два милиона тона. Замислите даље да се такав стуб пружа од Земље до Сунца спајајући оба небеска тела. Знате ли колико би таквих снажних ступова било потребно да се Земља задржи на њеном путу? Милион милиона! Да бисте очигледније претставили себи ту шуму челичних стубова који би густо покривали све континенте и океане, додаћу да би при њиховом равномерном распоређивању по целом Сунцу окренутој половини земљине кугле размади између њих били тек мало шири од самих стубова. Замислите силу која је потребна за кидање те огромне шуме челичних стубова и ви ћете добити претставу о снази невидљиве сile узајамног привлачења Земље и Сунца.

И сва се та колосална сила испољава само у томе што, савијајући пут земљиног кретања, присиљава Земљу да се сваке секунде помери од тангенте за 3 мм; захваљујући томе пут наше планете претвара се у затворену елипсу. Зар то није чудно: да би се привукла Земља сваке секунде за 3 мм, тј. за висину овога ретка, — потребна је таква колосална сила! То само показује како је сгромна маса земљине кугле, кад је чак тако чудо-вишна сила може тек веома незнатно да помакне.

Може ли се скрити од сile привлачења?

Мало час смо фантазирали о томе шта би било кад би узајамно привлачење између Сунца и Земље ишчезло: ослободивши се од невидљивих ланаца привлачне сile, Земља би журнула у бесконачни простор васионе. А сада фантазирајмо мало о другом питању: шта би било са свима земаљским предметима кад не би било теже? Ништа их не би везивало за нашу планету, и при најмањем ударцу они би одлетели даље у међупланетни простор. Не би се морало, уосталом, чекати ни на ударац: само окретање наше планете разбацало би у простор све што није чврсто везано са њеном површином.

Енглески писац Велс искористио је идеју сличне врсте да би у роману описао фантастично путовање на Месец. У томе делу (»Први људи на Месецу«) духовити романописац указује на врло оригиналан начин путовања са планете на планету. Ради се о следећем: учени јунак његовог романа пронашао је нарочиту материју која има необично својство — непробојност за силу привлачења. Ако се слој такве материје стави испод неког тела, оно се ослобађа од привлачне сile Земље и изложено је само дејству привлачне сile осталих тела. Ову фантастичну материју назвао је Велс »кеворитом«, по имениу његовог измишљеног проналазача Кевора.

»Ми јамо, — пише романописац, — да кроз сва тела продире сила гравитације тј. сила тежа. Ви можете поставити прегrade којима ћете препречити пут светлосних зрака до предмета; помоћу металних листова можете одвојити предмет од приступа електричних таласа радиотелеграфа, али никаквим преградама не можете заштитити предмет од дејства сунчеве привлачне сile или од земљине сile теже. А зашто у природи нема сличних преграда против привлачне сile, — тешко је рећи. Ипак, Кевор није видео разлога, зашто не би постојала таква материја кроз коју не би продирала сила гравитације; он се сматрао способним да вештачки изради такву материју, непродорну за гравитацију.

»Свак ко има макар и искру фантазије лако ће замислiti какве необичне могућности пред нама открива

таква материја. Ако је, на пример, потребно да се подигне неки терет, ма како он био огроман, биће довољно да се испод њега стави лист те материје па да се терет подигне као сламчица.²⁶

Поседујући такву чудну материју, јунаци романа су направили небеску лађу у којој и чине смели лет на Месец. Конструкција те лађе-ђулета је сасвим једноставна; у њој нема никаквог покретног механизма, јер се она креће дејством привлачне силе небеских тела.

Ево описа тога фантастичног ђулета:

»Замислите ћуле у облику кугле, довољно велико да се у њему сместе два човека са својим пртљагом. Ђуле ће имати два омотача — унутарњи и спољашњи; унутарњи је од дебelog стакла, спољни је од челика. Са собом се може узети залиха згуснутог ваздуха, концентрисаног јела, апарати за дестилацију воде итд. Челична кугла ће бити споља цела покривена слојем »кеворита«. Унутарњи стаклени омотач ће бити од једног комада, изузев прозорчића, док ће се челични омотач састојати од одвојених делова и сваки се тај део може помицати као завеса. То је лако направити помоћу нарочитих опруга; завесе ће се навлачiti електричном струјом, која ће бити спроведена жицом од платине кроз стаклени омотач. Али, то су већ техничке појединости. Главно је то да ће се сав спољни омотач ђулета састојати од прозора и »кеворитних« завеса. Када су све завесе потпуно спуштене, у куглу не може да продре ни светлост, нити уопште који било облик енергије у зрацима као ни сила гравитације. Али, замислите да се једна од завеса дигне, — тада ће ма које масивно тело, које се случајно, налази у даљини у правцу тога прозора, привући ћуле к себи. Практично посматрано, моћи ћемо да путујемо тако кроз свемирски простор у оном правцу у коме зажелимо, привлачени час једним, час другим небеским телом.«

Како су Велсови јунаци полетели на Месец

Романописац је интересантно описао сам моменат појаска међупланетског вагона на пут. Танки слој »кеворита«, који покрива спољну површину ђулета, чини га

као да је потпуно без тежине. Ви разумете да тело без тежине не може да лежи мирно на дну ваздушног океана; с њим се мора десити исто што би се десило са плутом загњуреним на дно језера: плuto би брзо испловило на површину воде. Исто тако би ћуле без тежине, — одбачено уз то и инерцијом скретања земљине кугле, морало нагло узлетети у вис и, стигнувши до крајњих граница атмосфере, слободно продолжити свој пут у пространству свемира. Јунаци из романа су тако и полетели. А кад су се нашли у свемирском пространству, они су, откривајући једне заклоне и затварајући друге, подвргавајући унутрашњост ђулета час привлачној сили Сунца, час Земље, час Месеца, доспели до површине нашеј пратиоца. Доцније се један од путника вратио у томе ђулету. Овде се нећемо задржавати на анализи Велсове идеје у суштини, — то сам учинио на другом месту²⁶ на коме сам и објаснио њену немогућност. Поверијмо за тренутак духовитом романописцу и пођимо на Месец за његовим јунацима.

Пола часа на Месецу

Погледајмо како су се осећали јунаци Велсове приповетке кад су се нашли у свету у коме је сила тежа слабија него на Земљи.

Ево тих интересантних страница²⁷ из романа »Први људи на Месецу«. Приповеда један од становника Земље, који су тек стигли на Месец.

»Подигао сам кров ђулета. Клекнувши на колена нагнуо сам се кроз прозорчић: доле, на три стопе од моје главе лежао је девичански снег Месеца.

Замотавши се у ћебе Кевор је сео на крај прозора и почeo да опрезно спушта ноге. Пошто их је спустио до половине једне стопе изнад површине, он је, после тренутног колебања, склизнуо доле на површину Месеца.

²⁶ »Међупланетска путовања«.

²⁷ Одломак је овде наведен са испуштањима текста који није одбитног значаја.

Посматрао сам га кроз стаклени омотач кугле. Пошто је прешао неколико корака он сачека једну минуту, осврћући се уоколо, а затим се реши и — скочи напред.

Стакло је искривљавало његове покрете, али се мени чинило да је то стварно био исувише велики скок. Кевор се одједном нађе на даљини од 6—10 метара од мене. Стојећи на стени он ми је чинио неке знаке; можда је и викао, али звуци нису допирали до мене... Како је он учинио такав скок?

Зачућен, провукао сам се и ја кроз прозорчић и спустио се такође доле, нашавши се на крају снежне удубине. Пошто сам учинио један корак напред, скочио сам.

Осетио сам како летим и ускоро сам се нашао близу стене, на којој је стајао Кевор и чекао мене; ухвативши се за њу, ја сам лебдео у страшној запрепаштености.

Кевор ми је, нагнувши се, викао пискавим гласом да будем опрезнији.

Био сам заборавио да је на Месецу сила тежа 6 пута слабија него на Земљи. Али ме сама стварност на то потсетила.

Опрезно, суздржавајући своје покрете, испео сам се на површину стене и, корачајући као реуматичар, стао сам на сунце поред Керова. Наше је ђуле лежало на најмету снега који се топио, око тридесет стопа од нас.

— Погледајте, — рекао сам окренувши се Кевору.

Али је Кевор ишчезао.

Један тренутак сам застао изненађен, а затим сам, жељећи да погледам иза стене, журно коракњуо напред, потпуно заборављајући да сам на Месецу. Напор мишића, који сам учинио, покренуо би ме за један метар да сам био на Земљи; на Месецу ме тај напор покренуо за 6 метара и ја сам се нашао на 5 метара од краја стене.

Преживљавао сам оно осећање лебдења у простору које се доживљује у сну, када се сања као да падаш у бездан. Човек на Земљи пада у току прве секунде 5 метара, а на Месецу он прелази при падању у првој секунди 80 центиметара. Ето зашто сам лагано полетео доле у дубину од девет метара. Падање ми се учинило

отегнуто; оно је трајало три секунде. Пловио сам у ваздуху и полако се спустио као лепух, павши у снежни намет на дну стеновите удoliniје.

— Кеворе! — викнуо сам, осврчући се уоколо. Али нитде није било ни трага од њега.

— Кеворе! — викнуо сам гласније.

И наједном сам га угледао: он се смејао и давао ми знаке, стојећи на голој стени на двадесетак метара од мене. Нисам могао чути речи, али сам разумео смисао његових гестова: он ме звао да скочим к њему.

Колебао сам се: даљина ми је изгледала и сувише велика. Али сам брзо схватио да ћу сигурно и ја успети да скочим, кад је Кевор могао да учини такав скок.

Узмакнувши један корак, скочио сам из све снаге. Као стрела сам се дигао у ваздух и чинило ми се да се никада нећу доле спустити. То је био фантастични лет — огроман, као у сну, али у исто време пријатан до усхићења.

Скок је био и сувишеjak: прелетео сам изнад Кеворове главе.«

Гађање на Месецу

Следећа епизода, узета из приповетке истакнутог совјетског проналазача К. Е. Циолковског »На Месецу«, помоћи ће нам да објаснимо услове кретања под дејством силе теже. Атмосфера, која на Земљи омета кретање тела у њој, скрива од нас просте законе слободног пада, компликујући их допунским условима. На Месецу ваздуха уопште нема. Месец би био изврсна лабораторија за проучавање падања тела, кад бисмо се могли наћи на њему и бавити се тамо научним испитивањима.

Вратимо се епизоди приповетке и објаснимо да се два сабеседника из одломка који се даље наводи налазе на Месецу и желе да испитају како ће се тамо кретати меци избачени из пушке.

»— А да ли ће ту барут дејствовати?

— Експлозивне материје у празном простору морају да делују већом снагом него у ваздуху, јер ваздух само

смета њиховом ширењу; што се тиче кисеоника, он им није потребан, јер оне сву потребну количину кисеоника садрже саме у себи.

— Поставимо пушку вертикално да бисмо метак после пуштања нашли у близини...

Пуцањ, слаб звук,²⁸ лак потрес терена.

— Где је затварач? Мора бити негде ту у близини.

— Затварач је одлетео заједно са метком и тешко да ће се од њега одвојити, јер му на Земљи само атмосфера смета да јури за оловом; овде паперје пада и лети у вис истом брзином као и камен. Узми једно перце које вири из јастука, а ја ћу узети гвоздену куглу. Ти можеш бацати своје перце и гађати њиме у циљ, чак и удаљен, исто тако лако као ја са куглом. Ја могу бацати куглу мале тежине око 400 метара; ти на исту удаљеност можеш да башиш перце. Истина, ти њиме нећеш никога убити и при бацању чак нећеш ни осетити да нешто бааш. Бацимо из све снаге та два предмета, међу којима није велика разлика, — у једну исту мету: ено у онај првени гранит...

Перце је мало престигло гвоздену куглу, као да је било понесено снажним вихором.

— Но, шта је то? Од пущња су прошлиле три минуте, а метка нема!

— Сачекај две minute и он ће се, сигурно, вратити.

Стварно, после реченог времена осетили смо лак потрес терена и видели недалеко затварач који је потскакивао.

— Колико је летео метак! Коју је висину морао достићи?

— Седамдесет километара. Ту висину условљавају мала тежа и отсуство ваздушног отпора.«

Проверимо. Ако као брзину метка у часу изласка из пушчане цеви узмемо релативно скромну цифру од 500 м у секунди (то је један и по пута мање од стварне брзине код савремених пушака) онда би висина, до које би метак стигао на Земљи, при отсуству атмосфере, била:

²⁸ Звук, који се преноси кроз терен и тела људи, а не кроз ваздух, којега на Месецу нема.

$$h = -\frac{v^2}{2g} = \frac{500^2}{2 \cdot 10} = 12.500 \text{ м}$$

тј. $12\frac{1}{2}$ км. А на Месецу, где је сила тежа 6 пута слабија, уместо g треба узети $\frac{10}{6}$; висина коју ће метак достићи мора износити:

$$12.500 \times 6 = 75 \text{ км.}$$

У бунару без дна

О томе шта се дешава у дубокој утроби наше планете, за сада је веома мало познато. Једни претпостављају да испод тврде коре дебеле око 100 километара настаје упарено течна маса; други сматрају да је цела земљина кугла шчврснута до самога центра. Питање је тешко решити: најдубље окно не достиже даље у дубину од $2\frac{1}{2}$ км²⁹ а радиус земљине кугле износи 6.400 км. Кад би било могуће пробушити кроз нашу планету бунар, који би земљину куглу пресецао скроз по дијаметру, — онда би таква питања, разуме се, била решена. Савремена је техника још далеко од могућности да оствари такве потхватае, — ма да би све рупе избушене у земљиној кори, узете заједно, претстављале дужину која би премашила дијаметар наше планете.

О пробијању тунела скроз кроз земљину куглу мештали су у XVIII веку чувени математичар Мопертин и



Сл. 45. Кад би пробушили земљину куглу по дијаметру...

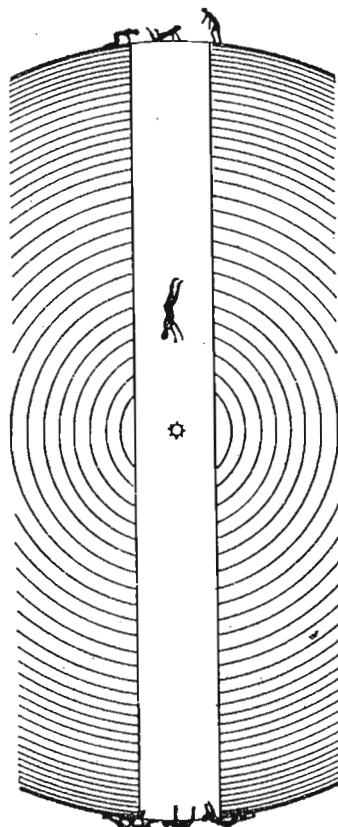
²⁹ Ту дубину има окно отворено 1932. г. у Јужној Африци, у руднику злата Вилејџ Дип. По дубини друго место у свету (око 2.300 м) заузимају бразилијански рудник злата Моро Вељхо, о коме ћемо још говорити у глави VI. Најдубље окно нашега Савеза — »Новаја Смољанка« у Домбасу — достиже 900 м. Дубље продире у земљину кору бушилица; најдубљи нафтин отвор пробушен је у Тексасу (САД): он достиже 3.835 м дубине.

филозоф Волтер. На тај се пројекат — истина, у другом, скромнијем размеру — вратио покојни француски астроном Фламарион; овде репродукујемо слику из заглавља његовог чланка, посвећеног тој теми (сл. 45).

За сада још, наравно, ништа слично није учињено; али се ми можемо послужити замишљеним бунаром без дна, да бисмо се забавили једним занимљивим проблемом. Шта мислите о томе, шта би било с вами кад бисте упали у такав бунар без дна (на отпор ваздуха привремено заборавимо)? Разбити се о дно не можете, — ту дно не постоји, — али, где ћете се зауставити?

У центру Земље? Не.

Када долетите до центра, ваше ће тело имати тако колосалну брзину (око 8 км у секунди), да о заустављању у тој тачки не може бити ни говора. Ви ћете продужити даље и летићете, успоравајући постепено кретање, док не стигнете на руб супротног краја бунара. Ту се морате снажно ухватити за ивицу, иначе ћете учинити нову шетњу кроз сав бунар до другога краја. Ако вам и ту не пође за руком да се за нешто ухватите, ви ћете опет полетети у бунар и сисилираћете тако без краја. Механика учи да се при таквим условима (само ако се, по-



Сл. 46. Кад би тело упало у бунар, прокопан кроз средиште земљине кугле, оно би се кретало без престанка од једног краја бунара до другог, обављајући целу осцилацију за 1 сат и 24 минуте

нављам, занемари отпор ваздуха у бунару) тело мора да креће с једног краја на други без прекида.³⁰

Колико би трајала једна таква осцилација? Цели би пут до краја бунара и назад трајао 84 минуте и 24 секунде, тј. округло сат и по.

»Тако би било, — продужује француски астроном, — кад би бунар био прокопан дуж осовине од једног пола до другога; али, ако би се пренела тачка поласка на било коју географску ширину — на тле Европе, Азије или Африке, морао би се узети у рачун утицај земљиног окретања. Познато је да свака тачка земљине површине на екватору прелази 465 м у секунди, а на ширини Париза 300 м. А како кружна брзина ради се са удаљавањем од центра осовине окретања, то се, на пример, једна оловна кугла, бачена у бунар, не би кретала по вертикални, него би унеколико скретала према истоку. Ако би се копао бунар без дна на екватору, његова би ширина морала бити веома велика, или би он морао бити начињен јако силно укосо, јер би тело које пада са земљине површине појурило далеко источно од центра.

»Кад би се улазни отвор бунара налазио на једној од висоравни Јужне Америке, претпоставимо на висини од два километра, а супротни крај бунара на нивоу океана, човек, који би из неопрезности упао у амерички отвор, дојурио би до супротног краја бунара таквом брзином да би излетео из њега на висину од два километра.

»А кад би се оба краја бунара налазила на нивоу океана, могла би се дати рука човеку који је пролетео кроз бунар, у часу његовог појављивања на отвору када брзина лета постаје равна нули. У претходном случају, напротив, требало би се брижљиво уклонити од сувише брзога путника.«

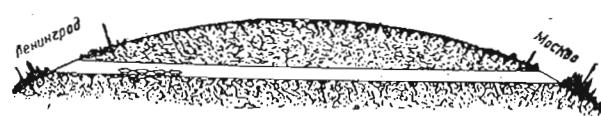
Пут из бајке

Пре тридесет година појавила се у Лењинграду брошуре са чудним насловом: »Подземна железница која се сама креће између Петрограда и Москве. Фантастични

³⁰ Уз отпор ваздуха осцилирања ће се постепено стишавати и ствар ће се свршити тиме што ће се човек зауставити у средишту земље.

роман за сада у три главе а и оне незавршене.« Писац те брошуре, А. А. Родних, износи духовит пројекат, са којим ће љубитељу физичких парадокса бити интересантно да се упозна.

Пројекат се састоји »ни мање, ни више, него у томе да се пробије тунел од 600 километара, који би морао везати обе наше престонице у потпуну правој подземној линiji. На тај начин би човечанство имало први пут могућност да пређе пут по правој линiji, а не да иде искривљеним путевима као што је то било до сада.« (Писац хоће да каже, како сви наши путеви, следећи кривину земљине површине, иду по луку, док би пројектовани тунел прошао по правој линiji — по тетиви.)



Сл. 47. Кад би се пробио тунел између Лењинграда и Москве, возови би се у њему кретали на једну и другу страну сопственом тежином, без локомотиве

Такав тунел, кад би било могуће да се пробије, имао би чудновату особину коју нема ниједан пут на свету. Она се састоји у томе: што се свака кола у таквом тунелу морају да крећу сама од себе. Сетимо се нашег подземног бунара, пробијеног кроз земљину куглу. Тунел Лењинград—Москва био би исти такав бунар, само не пробушен по дијаметру него по тетиви. Истина, кад се погледа на сл. 47, може се рећи да је тунел пробијен хоризонтално и да, према томе, воз нема разлога да се кроза ње креће на основу силе теже. Али, то је само обмана вида: повуците у мислима радиус на крајеве тунела (правац радиуса је вертикалан правцац) и ви ћете тада разумети да тунел није пробијен под правим углом на вертикалну линiju — тј. не хоризонтално, него косо.

У таквом се косом бунару свако тело мора да креће, под дејством силе теже, напред и назад, вршећи стално притисак на дно. Ако би се у тунелу направиле шине, вагон би се сам кретао по њима: тежина би заменила

локомотиву. У почетку би се воз кретао врло полако. Са сваком секундом би брзина тога воза расла; ускоро би она достигла величину која се не да замислити, тако да би ваздух у тунелу већ приметно ометао његово кретање. Али заборавимо привремено на ту досадну препреку која смета остварењу многих примамљивих пројеката и поћимо даље за возом. Када стигне до средине тунела, воз ће имати такву огромну брзину, — много пута бржу од топовског метка! — да би из залета стигао скоро до супротног краја тунела. Кад не би било трења, не би било тога »скоро«: воз без локомотиве довезао би се сам из Лењинграда у Москву. Трајање путовања од једног краја до другог, као што рачун показује, једнако је као и код падања тела кроз тунел који је пробијен по дијаметру: 42 минута и 12 секунда. Чудним стицјем оно не зависи од дужине тунела; путовања кроз тунеле Москва—Лењинград, Москва—Владивосток или Москва—Мелбурн трајала би једнако дugo.³¹

То би се догодило и са сваким другим колима: са дреzinом, кочијама, аутомобилом итд. Заиста, то је прави пут из бајке, који сам остаје непокретан, а покреће свака кола са једног краја до другога, и уз то невероватном брзином!

(Они који се интересују математском страном овога питања могу наћи његову детаљну анализу у моме чланку штампаном у часопису »Математика и Физика у школи«, 1936, № 3, стр. 106—107.)

Како се буше тунели?

Погледајте сл. 48 која показује три начина пробијања тунела и реците који је од тих тунела прокопан хоризонтално?

Ни горњи, ни доњи, него средњи, прокопан по луку који у свима тачкама затвара праве углове са правцима

³¹ Може се доказати још и друга, не мање интересантна поставка, која се односи на бунар без дна: трајање кретања не зависи од размера планете, него само од њене густине.

вертикалних линија (или земљиних радиуса). То је хоризонтални турел, — његова кривина потпуно одговара кривини земљине површине.



Сл. 48. Три начина пробијања тунела кроз брда

тачки тунела налазила у хоризонталном положају. Када је такав тунел дужи од 15 км (симплонски је, на пример, дугачак 20 км), онда се, стојећи на једном отвору, не може да види други: видни зрак удара о таваницу, јер је средња тачка таквог тунела преко 4 м изнад његових крајњих тачака.

Најзад, ако би се тунел прокопао по правој линији која веже крајње тачке, он би са оба kraja имао лаку низ брдицу према средини. Вода не само да из њега не би отицала, него би се скupљала у средини, тј. у његовом најнижем делу. Али, стојећи на једном kraju таквог тунела могао би се видети други отвор. Приложени цртежи објашњавају речено.³²

³² Из овога излази, између остalog, да су све хоризонталне линије — криве линије; правих хоризонталних линија не може да буде. А вертикалне линије, напротив, могу бити само праве.

Велики се тунели обично пробијају тако како је показано на сл. 48 горе: по правим линијама, тангентама на земљину површину у крајњим тачкама тунела. Такав тунел испочетка иде мало уз брдо, а затим низ брдо. Он има ту предност што се вода у њему не задржава, него сама отиче према крајевима. Ако би се тунел копао строго хоризонтално, онда би дугачак тунел имао лучни облик. Вода не би тежила да из њега отиче, јер би се у свакој



ГЛАВА ПЕТА

ПУТОВАЊЕ У ТОПОВСКОМ МЕТКУ

Завршавајући наше разговоре о законима кретања и о сили гравитације, размотримо оно фантастично путовање на Месец које је тако занимљиво описан Жил Верн у романима »Са Земље на Месец« и »Пут на Месец«.³³ Ви се, наравно, сећате како су чланови Топовског клуба у Балтмору, пошто су остали беспослени после свршетка североамеричког рата, решили да излију чиновски топ, да га напуне огромним шупљим ћулетом и да, сметивши унутра путнике, испале на Месец то ћуле-вагон.

Да ли је та мисао фантастична? И пре свега: да ли се телу може дати таква брзина да оно неповратно напусти земљину површину?

Њутнова планина

Дајмо реч генијалном Њутну, који је отрио закон гравитације. У својим »Математским принципима физике« он пише (ово место најдимо, ради лакше разумевања, у слободном преводу):

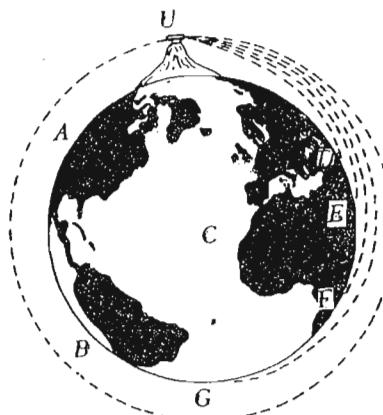
³³ Руски превод (Марка Вовчка) носи наслов »Из топа на Месец«. Изашао је у редакцији Ј. Перељмана, у издању »Детиздата«, 1936. г.

»Бачени камен скреће, под дејством силе теже, са праволинијског пута и пада на земљу описујући криву линију. Ако бисмо бацали камен са великим брзином, он би одлетео даље; према томе се може десити да он опише лук од десет, сто, хиљаду миља, и коначно да изађе ван граница Земље и да се више и не врати на Земљу. Нека AFB (сл. 49) претставља површину земље, C — њено средиште, а UD , UE , UF — криве линије које описује тело бачено у хоризонталном правцу са веома високе планине, и сваки пут са све већом и већом брзином. Ми не узимљемо у обзир отпор атмосфере, тј. претпостављамо да ње уопште нема. При мањој првобитној брзини тело описује криву UD , при већој брзини — криву UE , при још већим брзинама — криве UF , UG . При извесној брзини тело ће обићи око целе Земље и вратити се на врх планине са које је бачено. Како при повратку на полазну тачку брзина тела неће бити мања него у почетку, тело ће продужити да се креће и даље по истој кривој.«

Сл. 49. Како би морало да пада камење бацано са врха планине огромном брзином у хоризонталном правцу

Кад би на тој замишљеној планини био топ, онда ћуле, избачено из њега одређеном брзином, не би никада пало на Земљу, него би почело да се непрекидно окреће око земљине кугле. Путем прилично једноставног рачуна³⁴ није тешко утврдити да то мора наступити при брзини од приближно 8 км у секунди. Другим речима: метак, избачен из топа брзином од 8 км у секунди, напустиће заувек површину земљине кугле и постаће пра-

³⁴ Види »Занимљиву физику«, књ. I, гл. II.



тилац наше планете. Он ће јурити 17 пута брже од ма које тачке на екватору и описиваће затворен круг око наше планете за 1 сат и 24 минуте. Ако би се ћулету дала већа брзина, оно се више не би окретало око Земље по кругу, него шо више или мање развученој елипси, удаљујући се од Земље на огромно отстојање. При још већој почетној брзини ћуле би се заувек удаљило од наше планете у пространство свемира. То мора наступити при почетној брзини од око 11 км. (При свим овим разматрањима имају се у виду меси који се крећу у празном простору, а не у ваздушној средини.)

Дакле, кад не би било атмосфере, не би било ничег немогућег у замисли да се на Месец пребаци неко телоса Земље. А сад погледајмо да ли се то може постићи оним средствима које је предлагао Жил Верн. Савремени топови не дају месима брзину већу од 2 км у првој секунди. То је пет пута мање од брзине са којом тело може да полети на Месец. Јунаци романа су мислили да ће, ако направе циновски топ и напуне га огромном количином експлозивних материја, успети да постигну брзину довољну да би се ћуле отпремило на Месец.

Фантастични топ

И тако чланови Топовског клуба излију циновски топ, дуг четврт километра, вертикално укопан у земљу. Израђено је и одговарајуће огромно ћуле, чија унутрашњост претставља кабину за путнике. Његова је тежина — 8 тона. Топ је набијен памучним барутом — пироксилином — у количини од 160 тона. Услед експлозије, ако је веровати романописцу, ћуле добија брзину од 16 км у секунди, али се због трења о ваздух та брзина умањује до 11 км. На тај начин Жил-Верново ћуле, пошто се нађе ван граница атмосфере, има брзину довољну да би додлете до Месеца.

Тако се описује у роману. Шта о томе може да каже физика?

Слаба страна Жил-Верновог пројекта налази се у нечим сасвим другом него што је оно у што сумња читалац.

Пре свега, може се доказати (ја то доказујем у књизи »Међупланетска путовања«) да топовски меши са барутом неће никада моћи да добију брзину већу од 3 км.

Поред тога, Жил Верн није довољно узео у обзир отпор ваздуха, који при таквој огромној брзини мора бити веома велики и потпуно изменити слику лета. Али и поред тога постоје озбиљни приговори пројекту лета на Месец у артиљериском метку.

Главну бојазан изазива судбина самих путника. Не мислите да им опасност прети за време лета од Земље до Месеца. Ако би они успели да остану живи у часу када напусте топовско ждрело, у току даљег путовања не би имали чега да се плаше. Огромна брзина којом би путници јурили кроз пространство свемира заједно са својим вагоном за њих је исто тако безопасна, као што је безопасна и за нас становнике Земље још већа брзина којом земљина кугла јури око Сунца.

Тешки шешир

Најопаснији тренутак за наше путнике претстављало би оно неколико стотих делова секунде, у току којих се ђуле-кабина креће кроз топовску цев. У току тога беззначајно малога временског размака мора се брзина, са којом ће се путници кретати кроз топ, попети од нуле до 16 километара у секунди. Нису узалуд путници у роману са великим стрепњем очекивали испаљивање. И Барбикен је био потпуно у праву када је тврдио: да ће тренутак када ђуле полети бити за путнике исто тако опасан, као када се они не би налазили у ђулету него испред њега. Стварно: у часу испаљивања путнике би одоздо ударио под кабине истом снагом којом би ђуле налетело на свако тело које би се налазило на његовом путу. Јунаци романа су гледали на ту опасност и сувише олако, уображавајући да ће у најгорем случају проћи само са изливом крви у главу...

Ствар је, међутим, озбиљнија. Ђуле се кроз цев креће убрзано: његова брзина расте под сталним притиском гасова који се стварају при експлозији. У току беззначај-

ног дела секунде та се брзина попење од 0 до 16 км/сек. Претпоставимо, ради једноставности, да брзина расте равномерно; тада убрзање, које је потребно да би се у тако малом времену дошло до брзине ђулета од 16 км/сек, достиже окружло 600 км у секунди за секунду (израчунавање је извршено даље на стр. 99, 100).

Кобни значај те цифре потпуно ћемо разумети ако се сетимо да обично убрзање силе теже на земљиној површини износи свега 10 м у секунди за секунду.³⁵ Одатле произлази да би сваки предмет у унутрашњости ђулета у часу испаљивања вршио на под кабине притисак, који би био 60.000 пута већи од тежине тога предмета. Другим речима: путници би осетили као да су постали неколико десетина хиљада пута тежки! Под дејством такве колосалне тежине они би били у једном тренутку згњечени. Сам би цилиндар мистер Барбикена био тежак у часу испаљивања не мање од 15 тона (тежина натовареног вагона); такав је шешир више него довољан да би згњечио његовог власника.

Истина, у роману су описане и мере које су биле предузете за слабљење ударца: ђуле је снабдевено спиралним одбојницима и дуплим дном са водом која испуњује простор између оба дна. Трајање ударца се, услед тога, мало продужује и према томе брзина пораста убрзања слаби. Али је, при огромним силама које се ту појављују, корист од тих уређаја мизерна. Сила која би згњечила путнике о под смањује се за беззначајни део, — а зар није свеједно да ли ће човека згњечити шешир од 15 или од 14 тона?!...

Како да се ослаби ударац?

Механика нам показује начин на који би било могуће ослабити кобни нагли пораст брзине.

То се може постићи ако се знатно продужи топовска цев.

³⁵ Додајем да убрзање тркачког аутомобила, који отпочиње своје брзо кретање, не прелази 2—3 м у секунди за секунду, а убрзање воза, који иолагано полази из станице, — 1 м у секунди за секунду.

Потребно је, ипак, продужити цев веома много, ако желимо да у часу испаљивања »вештачка« тежина у ђулету буде једнака обичној тежини на земљиној кугли. Приближан рачун показује да би за то било потребно направити топ дугачак ни мање ни више него — 6.000 км! Другим речима, Жил Вернова »Колумбијада« морала би продирати у дубину земљине кугле до самог њеног средишта... Тада би путници могли бити спасени од свих непријатности: њихова би се обична тежина, услед полазног повећања брзине, повећала вештачки још једном толико колико она нормално износи и они би осећали да су постали свега два пута тежи.

Уосталом, у току кратког временског размака човеков је организам способан да без штете поднесе повећање оптерећења неколико пута већег од његове нормалне тежине. Када се спуштамо низ брдо по леду и нагло мењамо правац свога кретања, наша се тежина у том кратком тренутку приметно повећава, тј. наше тело притискује саонице јаче него обично. Троструко повећање тежине подносимо без последица. Ако се претпостави да човек може без штете поднети у току кратког времена чак и десетоструко повећање тежине, онда ће бити довољно да се излије топ дугачак »свега« 600 километара. То је ипак слаба утеша, јер је и такав уређај изван граница техничких могућности.

Ето под каквим се условима може замислiti остварење примамљивог Жил Верновог пројекта да се полети на Месец у топовском метку.³⁶

³⁶ Описујући у роману прилике у унутрашњости летећег топовског метка, Жил Верн је учинио битан пропуст, о коме се детаљно говори у првој књизи »Занимљиве физике«. Романописац није узео у обзир да ће после испаљивања, у току целога лета, предмети у ђулету бити потпуно без тежине, јер сила тежа даје једнака убрзања и ђулету и свима телима у њему (види даље поглавље: »Глава која недостаје у роману Жила Верна«). Без тежине би морали бити и предмети у унутрашњости оне небеске лађе о којој се говорило у чланку »На ракети пут звезда«. Детаљније о томе види у мојим књигама »Међупланетска путовања«, »Ракетом на Месец«, »Циолковски«, а такође и предговор роману Жила Верна »Пут на Месец« — у издању Детгиза.

За пријатеље математике

Међу читаоцима ове књиге наћи ће се без сумње и таквих који ће пожелети да сами провере горепоменуте рачуне. Овде доносимо та израчунавања. Она су тачна само приближно, јер се заснивају на претпоставци да се у топовској цеви ђуле креће са равномерним убрзањем (а у стварности се пораст брзине дешава неравномерно).

За израчунавање треба применити следеће две формуле за равномерно — убрзано кретање:

брзина v по истеку секунде t равна је at , где је a убрзање:

$$v = a \cdot t ;$$

пут S , пређен за t секунда налази се по формулама:

$$S = \frac{at^2}{2}$$

По тим ћемо формулама одредити, пре свега, убрзање метка када појури кроз цев »Колумбијаде«.

Из романа је позната дужина слободног дела топа, тј. оног дела у коме се не налази метак, и она износи 210 м: то је пут S који пређе метак.

Ми знамо и коначну брзину $v = 16.000$ м/сек. Дате величине S и v омогућују да се одреди величина t — трајање кретања метка у топовској цеви (посматрајући то кретање као равномерно-убрзано). Према томе је

$$v = at = 16.000$$

$$210 = S = \frac{at \cdot t}{2} = \frac{16.000 \cdot t}{2} = 8.000 t$$

одакле је

$$t = \frac{210}{8.000} \text{ около } \frac{1}{40} \text{ сек.}$$

Произлази да би метак пројурио кроз топовску цев свега $\frac{1}{40}$ секунде!

Ако уврстимо $t = \frac{1}{40}$ у формулу $v = at$, онда имамо:

$$16.000 = \frac{1}{40} a,$$

одакле је

$$a = 640.000 \text{ м/сек}^2.$$

Значи да убрзање метка при кретању кроз цев износи 640.000 м/сек^2 , тј. 64.000 пута веће од убрзања силе теже.

Колико мора бити дугачак топ, па да убрзање метка буде свега 10 пута веће од убрзања тела које пада (тј. да буде равно 100 м/сек^2)?

То је задатак супротан ономе који смо сада решили. Дате су величине: $a = 100 \text{ м/сек}^2$, $v = 11.000 \text{ м/сек}$ (при отсуству отпора ваздуха таква је брзина довољна).

Из формуле $v = at$ имамо: $11.000 = 100 t$, одакле је $t = 110$ секунда.

Из формуле

$$S = \frac{at^2}{2} = \frac{at \cdot t}{2}$$

добијамо да дужина топа мора износити $\frac{11.000 \cdot 110}{2} = 605.000 \text{ м}$, тј. око 600 км.

Оваким се рачуном долази до цифара које руше примиљиве планове Жил-Вернових јунака.



ГЛАВА ШЕСТА

СВОЈСТВА ТЕЧНОСТИ И ГАСОВА

Море у коме се не може потонути

Такво море постоји у земљи која је позната човечанству од стarih времена. То је чувено Мртво Море у Палестини. Његова је вода необично слана, толико слана да у њој не може опстати ниједно живо биће. Жарка клима Палестине, без кише, изазива снажно испаравање воде на морској површини. Али, испарава се само чиста вода, док растворене соли остају у мору и повећавају густину соли у води. Ето зашто вода Мртвога Мора не садржи соли 2 или 3 процента (од тежине), као већина мора и океана, него 27 и више процената. Концентрација соли расте са дубином. Дакле, четвртину садржине Мртвога Мора чине соли, растворене у његовој води. Укупна количина соли у Мртвоме Мору процењује се на 40 милиона тона.

Висока количина соли у води Мртвога Мора има везе са једном његовом интересантном особеношћу: вода је у томе мору знатно тежа од обичне морске воде. У тако тешкој течности не може се потонути: људско тело је лакше од ње.

Тежина нашега тела је знатно мања од тежине исте количине јако осољене воде и, према томе, по закону пливања човек не може потонути у Мртвоме Мору; он плива на њему, као што на сланој води плива кокошије јаје (које у несланој води тоне).

Хуморист Марк Твен, посетивши то море-језеро, на комичан начин описује необична осећања која су он и његови сапутници доживели купајући се у тешкој води Мртвога Мора:

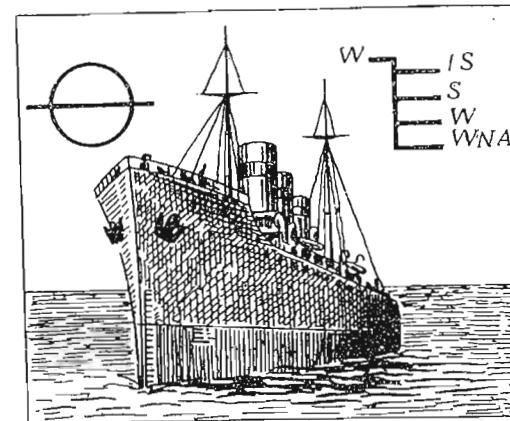
»То је било забавно купање! Нисмо могли да потонемо. Ту се може испружити на води целом дужином, може се лежати на леђима са рукама прекрштеним на грудима, при чем ће већи део тела остати над водом. Глава се усто може сасвим подићи... Можете да лежите веома удобно на леђима, можете дигнути колена до браде и обухватити их рукама, — али ћете се ускоро преврнути јер ће вас глава претегнути. Можете дубити на глави — и од средине груди до краја ногу вирићете изван воде; али нећете моћи дugo задржати такав положај. Не можете пливати на леђима тако да бисте се кретали колико толико приметно: ноге вам стрче из воде и ви можете да се одбацујете само петама. А ако пливате лицем доле, онда се не крећете напред, него назад. Коњ је у Мртвоме Мору тако нестабилан да не може ни да плива ни да стоји — он се одмах преврне на бок.«



Сл. 50. Човек на површини Мртвога Мора (према фотографији).

На сл. 50 видите човека како се прилично удобно на-местио на површини Мртвога Мора; велика специфична тежина воде омогућује му да у тој пози чита књигу, за-штићујући се сунцобраном од врелих зрака сунца.

Таква необична својства има и вода Кара-Богаз-Гола (залива Каспијског Мора)³⁷ и не мање слана вода језера Елтон, која садржи 27% соли. Нешто слично томе до-живљују болесници који морају да се купају у сланој води. Ако је осољеност воде веома велика, — као на пример код староруских минералних вода, — болесник мора да чини приличне напоре да би се задржао на дну каде. Слушао сам како се жена, која се лечила у Старој Руси, с негодовањем жалила како је вода »чисто избацује из купатила«. Изгледало је као да је била склона да за то окривљује управу бање...



Сл. 51. Ознака оптерећења на трупу лађе. Ознаке се чине на висини ватер-линије. Да би се виделе јасније, оне су показане такође и одвојено — горе. Значење слова је објашњено у тексту

Степен концентрације соли није једнак у свима морима и бродови, због тога, у свима морима не тону јед-

³⁷ Специфична тежина воде Кара-Богаз-Гола је 1,18. »У тако густој води може се пливати без напора и, према Архимедовом закону, немогућно је потонути« — примећује у вези с тим истраживач А. Д. Пељш (Карабугаз, 1934).

нако дубоко. Можда су неки од читалаца имали прилике да виде на трупу лађе близу ватер-линије такозвану »Лојдовску марку« — знак који показује висину граничних ватер-линија у водама разне густине. На пример, ознака оптерећења која се види на сл. 51 показује висину граничне ватер-линије:

у слаткој води (Fresch Water) . . .	FW
у Индијском Океану (India Summer) . . .	IS
у сланој води лети (Summer) . . .	S
у сланој води зими (Winter) . . .	W
у Северном Атлантском Океану зими (Winter North Atlantik) . . .	WNA

Код нас су се те ознаке почеле да појављују релативно недавно (оне су уведене, као обавезне, тек од 1909 г.).

Додајмо на крају да је недавно откривена једна врста воде која је у чистом виду, без икаквих примеса, знатно тежа од обичне: њена је специфична тежина 1,1 тј. за 10% већа од обичне воде. Према томе у базену са водом те врсте човек који не зна да плива не би могао да потоне. Новооткривена врста воде се назива »тешком« водом; њена је хемиска формула D_2O (водоник који улази у састав те воде састоји се од атома два пута тежих од атома обичног водоника и означава се словом *D*). »Тешка« вода је у незнатној количини растворена у обичној: у јанти воде за пиће налази се око 8 грама »тешке« воде.

Тешка вода састава D_2O (има 17 врста тешких вода различног састава) добија се сада скоро већ у чистом виду; примеса обичне воде износи мање од 1% и своди се чак до 0,05%. Таква се »тешка вода« може купити у иностранству по цени од око 300 долара литар, тако да би базен тешке воде стајао милионе долара.

Како ради ледоломац?

Не пропустите прилику када се купате да извршите следећи оглед. Пре него што изађете из каде, отворите њену одводну цев и останите и даље лежећи на њеном дну. Уколико се буде све већи и већи део вашега тела појављивао изнад воде, ви ћете постепено осећати све

више његово отежавање. На најочигледнији начин ви ћете се при том уверити да се тежина, коју је ваше тело изгубило у води (сетите се како сте се осећали лаким укади!) поново појављује, чим се тело нађе изнад воде. Када такав експеримент учини кит без његове воље, ако се нађе за време осеке на плићаку, последице су за животињу кобне: она се згњечи, властитом чудовишном тежином. Не живе узалуд китови, иако су сисари, у воденој стихији: потискујућа сила течности спасава их од смртоносног дејства силе теже.

Ово што је речено у најближој је вези са насловом овога чланка. Рад ледоломца заснива се на истој физичкој појави: из воде избачени део лађе престаје да се држи у равнотежи са потискујућим дејством воде и он добија своју »копнену« тежину. Не треба мислiti да ледоломац сече лед при кретању непрекидним притиском свога кљуна. Тако не дејствују ледоломци, него ледорези, — на пример, наш чувени »Литке«. Тада је начин рада погодан само за лед релативно мале дебљине.

Прави морски ледоломци — као што су »Красин«, »Лењин« или »Јермак« — раде другачије. Дејством својих снажних машина ледоломац издигне изнад површине леда свој предњи део, који се у том циљу конструише јако накошен испод воде. Када се нађе изван воде, кљун лађе добија своју пуну тежину и тај огромни терет (који достиже, на пример код »Јермака« до 800 тона) ломи лед. Ради појачања дејства често се у предње цистерне напушта вода — »течни баласт«.

Тако дејствује ледоломац све дотле док дебљина леда није већа од половине метра. Дебљи се лед побеђује у дарним дејством лађе. Ледоломац се измакне назад и налети целом својом масом на руб леда. При томе више не дејствује тежина, него кинетичка енергија лађе која се креће; брод као да се претвара у артиљеријски метак мале брзине, али огромне масе. Ледене санте високе по неколико метара разбијају се снагом вишекратних удараца чврстог кљуна ледоломца. Учесник у чувеној експедицији »Сибирјакова« 1932 године, поларни морнар Н. Марков, овако описује рад тога ледоломца:

»У сред стотине ледених стена, уоред непрекидног леденог покривача »Сибирјаков« је отпочео битку. Педесет и два часа је стрелица машинског телеграфа скакала од од »пуног назад« и »пуног напред«. Тринаест четверочасовних морских смена »Сибирјаков« се из залета забијао у лед, кршио га кљуном, пеосе на лед, ломио га и поново се назад одмицао. Лед, дебео три четврти метра, пропуштао је пролаз с тешком муком! Са сваким смо се ударцем пробијали напред за трећину трупа.«

Највеће и најснажније ледоломце на свету има СССР.

Где се налазе потонули бродови?

Распрострањено је мишљење, — чак и међу морнарима, — да бродови који су потонули у океану не падају на морско дно, него лебде непокретно на извесној дубини, где је вода »у одговарајућој мери згуснута под притиском горњих слојева«.

То је мишљење делио, као што се види, чак и писац романа »Двадесет хиљада миља испод мора«. У једној глави тога романа Жил Верн описује потонулу лађу која непокретно лебди у води, а у другој спомиње лађе »које труну лебдећи у води«.

Да ли је исправно такво тврђење?

Изгледа као да извесног основа за то има, јер притисак воде у дубинама океана стварно достиже огромне размере. На дубини од 10 м вода врши притисак на загњурено тело снагом од 1 кг на 1 кв. цм. На дубини од 20 м тај притисак већ износи 2 кг, на дубини од 100 м — 10 кг, 1000 м — 100 кг. Океан је на многим местима дубок до неколико километара, достижући најдубљим деловима Великог Океана 11 км и више. Лако је израчунати какав страховити притисак мора да трпи вода и тела у њу загњурена на тим огромним дубинама.

Ако се празна зачепљена боца спусти на велику дубину и затим поново извуче, установиће се да је услед воденог притиска чеп утеран у боцу и сва боца пуна воде. Чувени океанограф Џон Мереј у својој књизи »Океан« описује овакав експеримент: три стаклене цеви различих

размера, залемљене са оба краја, биле су умотане у платно и смештене у бакарни цилиндар са отворима за слободан пролаз воде. Цилиндар је био спуштен на дубину од 5 км. Када су га отуда извукли, показало се да је платно било пуно неке масе као снег: то је било сmrвљено стакло. Комади дрвета, спуштени на сличну дубину, пошто су били извучени, тонули су као цигла у бачви с водом — тако су били сабијени.

Природно је, рекло би се, очекивати да такав отромни притисак мора до те мере згуснути воду у великим дубинама, да чак ни тешки предмети у њој не тону, као што не тоне ни гвоздени тег у живи. Ипак је тако мишљење неосновано. Експеримент показује да је вода — као уопште све течности — мало подложна сабијању. Под притиском од 1 кг на 1 кв. цм вода се сабија свега за $\frac{1}{22000}$ део свога волумена и тако се, приближно, сабија при даљем порасту притиска за сваки килограм. Ако бисмо зажелели да воду доведемо до такве густине да у њој плива гвожђе, било би потребно згуснути је 8 пута. Међутим, за постизање два пута веће густине, тј. за скраћивање њеног волумена на половину, потребан је притисак од 11.000 кг на 1 кв. цм (уколико поменута мера сабијања важи и за такве огромне притиске). То одговара дубини од 110 км испод површине океана.

Јасно је према томе да је потпуно неосновано говорити о било каквом приметном згушњавању воде у океанским дубинама. На најдубљем месту океана вода је згуснута само за $\frac{1.100}{22.000}$ тј. за $\frac{1}{20}$ своје нормалне густине, тј. за свега 5%.³⁸ То скоро не може утицати на услове пловљења разних тела у њој, — утолико пре што се чврсти предмети, потопљени у такву воду, такође подвргавају томе притиску и, према томе, такође сабијају.

³⁸ Енглески физичар Тет израчунao је да би се ниво воде у океанима, кад би земљина тежа изненада престала да делује и вода постала без тежине, подигао просечно за 35 м. (Услед тога што би збијена вода добила свој нормални волумен). »Океан би потопио 5.000.000 кв. км. копна, које се уздизе изнад воде, само због тога што постоји сабијање океанских вода, које копно окружују« (Берже).

Услед тога не може бити ни најмање сумње у то да постонули бродови почивају на дну океана. »Све што тоне у чаши воде, — вели Мереј, — мора отићи на дно и у најдубљем океану.«

Имао сам прилике да на то чујем овакав приговор: ако се у воду опрезно загњури чаша са дном окренутим горе, она може остати у том положају, јер ће истиснути количину воде која је тешка колико и чаша. Тежа метална чаша може се одржати у таквом положају и испод површине воде, не падајући на дно. Исто тако, рекло би се, може stati на пола пута и крстарица преврнута дном горе или који други брод. Ако у неким просторијама брода остане ваздух чврсто затворен, брод ће потонути до извесне дубине и на њој ће се зауставити. Није мало брдова који тону преврнути — и могуће је да неки од њих и не стигну до дна, остајући да лебде у тамним дубинама океана. Довољан би био лаки ударац да се такав брод изведе из равнотеже, да се преврне, напуни водом и натера да падне на дно, — али од куда ударац у дубини океана, где вечно царује тишина и мир и где не продиру чак ни одјеци буре?

Сви су ти разлози засновани на физичкој грешки. Преврнута чаша не тоне сама у воду — њу је потребно спољном силом загњурити у воду, као комад дрвета или празну зачепљену боцу. Исто тако и брод окренут дном горе не би уопште ни почeo да тоне, него би остало на површини воде. А на послу пута између површине сксана и његовог дна он не може никако да се нађе.

Подводне фабрике

Оне још не постоје, али можда неће бити потребно да се дugo чека на њихову појаву. Наши инжењери већ мисле о њима. На мисао о изградњи фабрика дубоко под водом наводе огромни притисци који тамо владају. Зар не би требало ту чиновску снагу, која засада пропада, неискоришћена, присилити да служи потребама технике? Познато је да постоје хемиски процеси који се обављају неулредиво снажније баш под појачаним притиском. Неки су од њих веома значајни за технику; такве су, на

пример, оне хемиске реакције до којих се долази при везивању азота са ваздухом у циљу добијања азотне киселине за ћубрење, или оне које се дешавају при претварању чврстог горива у течно (»бергензијација«). Природна је, према томе, мисао да се таква производња пренесе на дно мора с тим да се искористи страховити притисак који тамо влада.

Са пројектом такве врсте појавио се 1935. г. лист »Техника«, који је штампао предлог совјетског инжењера А. Сливинског о изградњи извесног броја радионица дубоко под водом. Најпогоднија би места могла бити дно Црнога Мора на кавкаској обали или дно Бајкалског Језера; тамо се налазе довољне дубине за добијање притиска од 100—150 атмосфера. »Ако се има у виду, — пише аутор пројекта, — да у близини Бајкала лежи огромни ирку茨ки базен каменог угља, веома погодног за бергензијацију, као и могућност експлоатације многих наслата тога базена надземним радовима, постаје јасан изванредни значај дубоководне технике за СССР. Претходни прорачуни обећавају снижење почетних издатака, у упоређењу са обичним уређајима, за 50 и више пута.«

Велики значај може имати разматрани пројект такође и у искоришћавању енергије ветра путем сакупљања резерви кисесника и водоника од електричног разлагања воде под високим притиском. Дубоководни резервоари за чување сакупљених гасова у снажно сабијеном облику не морају имати претерано велике разmere.

Пројекат предвиђа такав уређај подводних целова фабрике који не изискују непосредно присуство особља: надгледање и управљање врти се са обале на растојању (средствима телемеханике). »Ако је данас, — вели аутор пројекта, — овај проблем само реална бајка, има изгледа да ће сн сутра бити реалност из бајке.«

Како су се остварила маштања Жил Верна и Велса

Реалне подморнице нашега времена не само да су у извесном погледу достигле фантастични »Наутилус« Жила Верна, него су га чак и превазишли. Истина, брзина данашњих великих подморница два пута је мања од брзине »Наутилуса«: 24 узла према 50 код Жила Верна

(узао — око 1,8 км на сат). Најдужа плавида савремене подморнице је пут око света, док је капетан Немо учинио два пута дужу експедицију. Али је зато »Наутилус« имао тонажу од 1.500 тона, имао је посаду од свега две-три десетине људи и био је способан да остане под водом без прекида не више од 48 часова. Савремена велика подморница (»Сиркуф«), која припада француској флоти, има тонажу од 3.200 тона, посаду од 150 људи и може да остане под водом а да не исплови до 120 часова.

Пут од француских лука до острва Мадагаскара може да пређе та подморница а да успут не сврати ни у једну луку. По удобности кабина »Сиркуф«, вероватно, не изостаје иза »Наутилуса«. Даље, »Сиркуф« има над лађом капетана Немо-а и то несумњиво преимућство, што је на горњој палуби подморнице направљен непромочиви хангар за извиђачки хидроавион. Приметимо такође да Жил Верн није снабдео »Наутилус« перископом, који лађи даје могућност да испод воде посматра хоризонт.³⁹

Само ће у једном погледу реалне подморнице још задуго изостајати иза фантастичне творевине француског романописца, а то је у погледу дубине гњурања. Ипак треба приметити да је у тој тачки фантазија Жил Верн прешла границе магућега. »Капетан Немо, — читамо на једноме месту романа, — достишао је дубину од три, четири, пет, седам, девет и десет хиљада метара испод површине океана!« А једанпут се »Наутилус« спустио чак и на непостојећу дубину — од 16 хиљада метара! »Оsehen сам, — прича јунак романа, — како дрхте спојнице гвозденог оклопа подморнице, како се увијају шавови, како се унутра увлаче прозори, попуштајући под притиском воде. Да наша лађа није имала чврстину јединствено изливеног тела, била би у једном тренутку спљоштена као погачица!«

Примедба потпуно умесна, јер на дубини од 16 километара (kad би таква дубина постојала у океану) морао би притисак воде достићи

³⁹ Детаљније је о савременим подморницама, у упоређењу са »Наутилусом« Жила Верна, писано у поговору Б. В. Биљевића и Н. И. Тарасова уз руски превод романа »Двадесет хиљада миља испод мора« (изд. Лењинград, од. »Младе Гарде«, 1935).

$$16.000 : 10 = 1.600 \text{ кг на кв. цм}$$

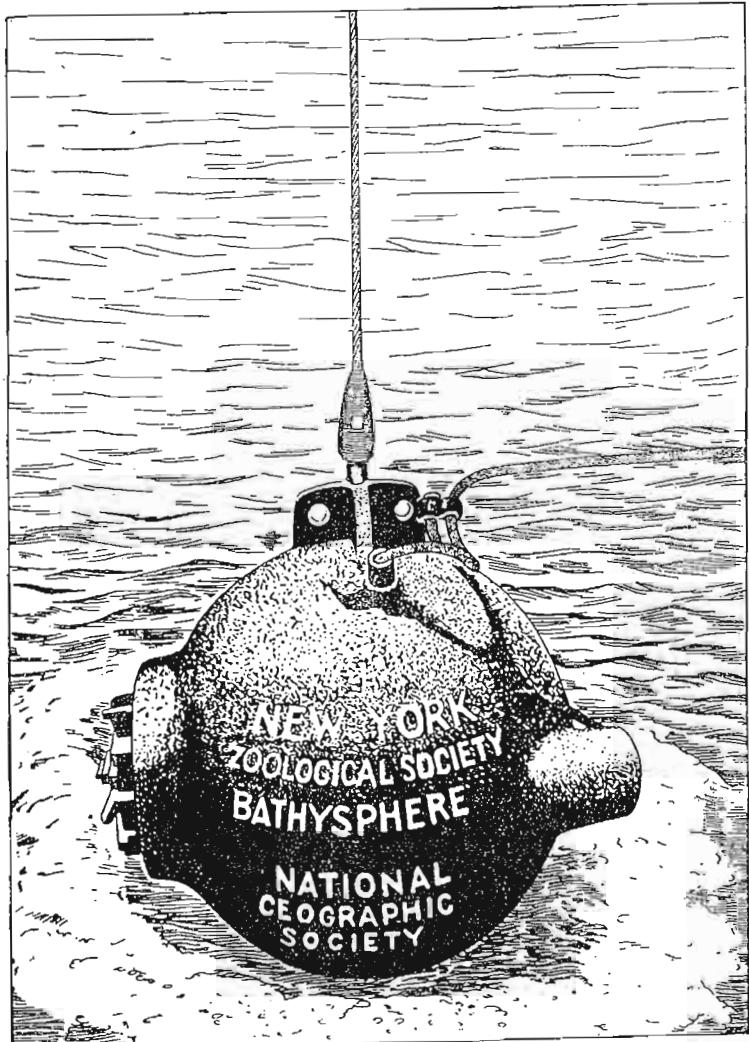
или 1.600 техничких атмосфера. Такав притисак не би смрвио гвожђе, али би несумњиво згњечио конструкцију. Међутим, такву дубину савремена океанографија не познаје. Преувеличане претставе о океанским дубинама, које су владале у време Жила Верна (роман је написан 1869. г.) објашњавају се несавршеностју начина за мерење дубина. У то време за лин-лоте није се употребљавала жица, него кудељни коноп; такав се лот задржавао трењем о воду утолико јаче уколико се дубље спуштао. На великој дубини трење је постајало тако знатно да је лот сасвим престајао да се спушта ма колико да се лин одвијао: кудељни коноп се стално одмотавао, остављајући утисак огромне дубине.

Савремене подморнице не могу да издрже притисак већи од 14 атмосфера; то одређује највећу дубину њиховог гњурења: 140 метара. Успело је да се достигну знатно веће дубине у нарочитом апарату, који је недавно направљен у Америци ради изучавања фауне океанских дубина. Тај апарат не потсећа, међутим, на Жил Вернов »Наутилус«, него на фантастичну творевину другог романописца, на Велсову куглу за дубоке воде која је описана у приповеци »У морској дубини«. Јунак те приповетке се спустио до дна океана, на дубину од 9 км, у челичној кугли дебелих зидова. Апарат се спуштао без конопца, са оптерећењем које се могло откачiti. Доспевши на дно океана, кугла се ту ослободила терета који ју је вукао доле и, олакшана, нагло је узлетала на површину воде.

Живот је скоро остварио Велсову уобразиљу. Амерички научник Виљем Бијб израдио је челичну куглу кроз коју ваздух не проније и у томе се апарату, названом »батисфера« (сл. 52), већ три пута спуштао на релативно огромну дубину: 1932. г. на 660 метара⁴⁰ и 1934. г. најпре на 760 м, а затим на 923 м.

⁴⁰ Почетком 1947. г. појавила се у новинама вест да се два професора физике бриселског универзитета Пикар и Козинс спремају да се у лето те године спусте на дно океана у Гвинејском Заливу. То ће се спуштање извршити у челичној кабини способној да издржи притисак воденог стуба од 15.000 метара. Научници се надају да ће достићи дубину од 4.000 метара.

Овај изврсни апарат има у пречнику $1\frac{1}{2}$ метар и тежак је око 2,5 тоне. На његовим су зидовима направљена три округла окна, са дијаметром од 20 цм, на које су



Сл. 52. Челични куглести апарат »батисфера« за спуштање у дубоке слојеве океана. Дебљина зида кугле — око 4 цм, дијаметар — 1,5 м, тежина — 2,5 тоне.

уместо стакла постављене дебеле плоче топљеног кварца. Два окна су предвиђена за посматрање живота испод воде, а кроз трећи продиру зраци јаког рефлектора. Батисфера се спуштала на конопцу са брода, са којим су људи, који су се налазили у кугли, одржавали телефонску везу у току свог трочасовног гњурања.

Како је подигнут »Садко«?

На океанској пучини пропадају сваке године хиљаде великих и малих бродова, нарочито у ратно време. Последњих година почело се радити на извлачењу најбољих бродова са морског дна, уколико су били приступачни за гњурце. Совјетски инжењери и гњурди који улазе у састав ЕПРОН-а (тј. »Експедиције подводних радова особите намене«), прославили су се у целом свету успешним извлачењем више од 150 већих бродова. Међу њима је, као један од највећих, ледоломац »Садко«, који је потонуо у Беломе Мору 1916 године због капетанове немарности. Пошто је одлежао на морском дну 17 година, тај изврсни ледоломац (»брат« »Малигина«) био је извучен настојањима радика ЕПРОН-а и поново је ступио у строј.

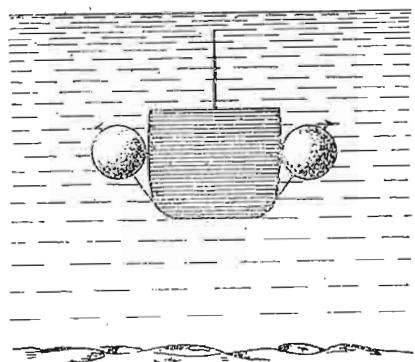
Техника подизања потпуно се заснивала на примени Архимедовог закона. Испод трупа потојнуле лађе, у тлу морскога дна, пробили су гњурци 12 тунела и провукли су кроз сваки од њих јак челични конопац. Њихове крајеве су причврстили уз понтоне, намерно потопљене поред ледоломца. Цели тај посао био је извршен на дубини од 25 метара испод морске површине.

Као понтони служили су шупљи гвоздени цилиндри (сл. 53) дуги 11 метара са дијаметром од $5\frac{1}{2}$ метара. Шупљи понтон је био тежак 50 тона. По правилима геометрије лако је израчунати његов волумен: око 250 кубних метара. Јасно је да такав празан цилиндар мора да плива на води: он истискује 250 тона воде, а сам је тежак свега 50. Његова носивост је равна разлици између 250 и 50, то јест она износи 200 тона. Да би се понтон спустио на дно, он се испуњава водом.

Када су крајеви 12 челичних конопа (види сл. 53) били чврсто привезани за потопљене понтоне, у цилиндре је, помоћу древа, убациван збијени ваздух. На дубини од 25 м вода врши притисак са снагом од $\frac{25}{10} + 1$,

тј. $3\frac{1}{2}$ атмосфере. Ваздух је убацивао у цилиндре под притиском од око 4 атмосфере и према томе је морао истискивати воду из понтона. Олакшање цилиндре је са огромном снагом потискивала околна вода на површину мора. Они су се у води пели у вис као аеростат у ваздуху. Њихова заједничка снага подизања, при потпуном истискивању воде из њих, износила би 200×12 тј. 2.400 тона. То премашује тежину потонулог »Садка«, тако да су, ради равномернијег подизања, понтони били ослобођени од воде само делимично.

Па ипак је подизање било изведено тек после неколико неуспелих покушаја. »Четири пута је спасилачка екипа претрпела оштећења, док није постигла успех, — пише руководилац радова, главни бродарски инжињер ЕПРОН-а Т. И. Бобрицки⁴¹. — Три пута, док смо напретнуто ишчекивали брод, видели смо како, уместо ледоломца, стихијски избијају увис, у хаосу таласа и пене, понтони и раскидана древа, која су се извијала као змије. Два пута се појављивао ледоломац и поново је ишчезавао у морској дубини, пре него што је испловио и коначно се задржао на површини.

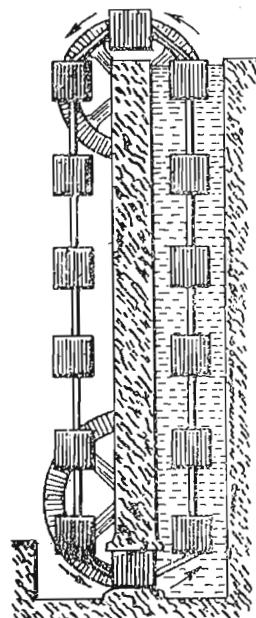


Сл. 53. Схема подизања »Садка«; показан је пресек ледоломца, понтони и конопци.

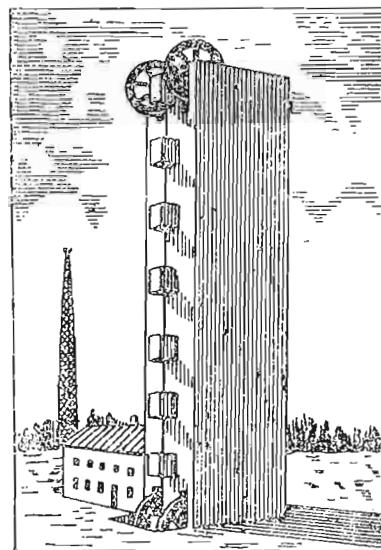
⁴¹ У књизи »Освајање дубина«, издање »Молодаја Гвардија«.

»Вечни« водени покретач

Међу мноштвом пројекта »вечног покретача« било је доста и таквих који су се заснивали на испитивању тела у води. Размотримо пример таквог »проналаска«. Кула висока 20 метара напуњи се водом. На врху и на дну куле намештени су точкови преко којих је пребачен јак гвоздени конопац у виду бескрајног касиша. Уз коноп је причвршћено 14 шупљих кубних сандука, високих један метар, састављених од гвоздених плочица тако да у сандуке вода не може да прође. Наше слике 54 и 55 представљају спољни изглед такве куле и њен вертикални пресек.



Сл. 54. Конструкција куле следећег претежа.



Сл. 55. Пројекат тобожњег воденог »вечног« покретача.

Како делује та направа? Свак ћо зна Архимедов закон схватиће да ће сандуци, када се нађу у води, тежити да исплове у вис. Њих горе вуче сила равна тежини воде

коју истискују сандуци, тј. тежини једнога кубног метра воде умноженог толико пута колико се сандука налази потопљено у води. Из цртежа се види да се у вэди налази увек шест сандука. Дакле, сила која потопљене сандуке вуче увис равна је тежини 6 кубних метара воде, то јест 6 тона. Доле их вуче сопствена тежина сандука, која, међутим, одржава равнотежу са тежином 6 сандука који слободно висе на спољној страни конопца.

Према томе, конопац пребачен преко точка на показани начин, биће увек изложен силама од 6 тона, која делује на једну његову страну и која има правац увис. Јасно је да ће та сила натерати конопац да се непрекидно скреће на точковима и да при сваком окрету изврши радијус $6.000 \times 20 = 12.000$ килограметара.

Сада је разумљиво да бисмо могли, кад бисмо заселијали земљу таквим куглама, да добијемо од њих неограђену количину рада, довољну за покриће свих потреба народне привреде. Куле би покретале динамо машине и давале би електричну енергију у свакој количини.

Ипак, ако се пажљиво удубимо у тај пројекат, уверићемо се лако да уопште не може да дође до очекиванога кретања конопца.

Да би се бескрајни коноп окретао, сандуци морају да на дну улазе у водени базен куле и да на врху излазе из њега. Али улазећи у базен, сандук мора да савлада притисак воденог стуба високог 20 метара. Тај притисак на квадратни метар површине сандука износи ни мање ни више него 20 тона (тежина 20 куб. м воде). Притисак увис износи свега 6 тона, те је очевидно недовољан да увуче сандук у базен.

То је само један од многобројних примера водених »вечних« покретача, које су на стотине измишљали несрећни проналазачи. Архимедов закон је давао сабљашњиву храну уму сних који су тражили »вечни« покретач и инспирисао их је на измишљање духовитих уређаја за искоришћење привидног губитка тежине, а у циљу добијања вечној извора механичке енергије.

Ко је измислио речи »гас« и »атмосфера«?

Реч »гас« спада међу оне речи које су измислили научници, поред речи као што су »термометар«, »електрика«, »галванометар«, »телефон« и пре свега »атмосфера«. Од свих измишљених речи гас је несумњиво најкраћа. Стари холандски хемичар и лекар Хелмонт, који је живео од 1577 до 1644. г. (Галилејев савременик), извео је »гас« од грчке речи »хаос«. Пошто је открио да се ваздух састоји од два дела, од којих један потпомаже горење и изгара, док други део нема та својства, Хелмонт је писао:

»Такву пару назвао сам гас јер се она скоро не разликује од хаоса античког времена« (првобитни смисао речи »хаос« је — сјајни простор).

Ипак, нова се реч за дugo после тога није употребљавала и обновио ју је тек славни Лавоазије 1789. г. Она се широко распрострла када се на све стране почело да говори о лету браће Монголфје у првим ваздушним балонима.

Ломоносов је у својим делима употребљавао други назив за гасовита тела — »еластичне течности« (који је остао у употреби још до времена када сам ја учио школу). Приметимо узгред да Ломоносову припада заслуга за увођење у руски језик низа назива који су постали стандардне речи научног језика:

атмосфера	манометар
барометар	микрометар
ваздушни шмрк	оптика, оптички
вязкость ⁴²	електрични
кристилизација	етер и др.
материја	

Генијални оснивач руске природне науке писао је тим поводом:

»Био сам присиљен да тражим речи за називање неких физичких инструмената, дејстава и природних тва-

⁴² Вязкость — везивност. — Прим. прев.

ри, које ће (тј. речи), надам се, иако испочетка буду изгледале унеколико чудне, временом ипак постати блиске кроз употребу».

Како што знамо, наде Ломонсова потпуно су се оствариле.

Напротив, речи које је доцније предложио В. И. Даљ (познати писац речника) да би њима заменио реч »атмосфера« — неспретно направљене речи »мироколица« или »колоземица« — нису прихваћене, као што није прихвачена ни његова реч »небозём« уместо хоризонта и друге нове речи.

На изглед прост задатак

Самовар који може да прими 30 чаша течности напуњен је водом. Ставите чашу под његову славину и са сатом у руци пратите на секундној казаљци за које ће се време чаша напунити до врха. Претпоставимо за пола минута. А сада запитајмо: за колико ће се времена испразнити цели самовар, ако се славина остави отворена?

Изгледа да је то детињски лак аритметички задатак: једна чаша истече за $\frac{1}{2}$ минуте, — значи да ће се 30 чаша источити за 15 минута.

Али, извршите оглед. Показаће се да се самовар неће испразнити за четврт сата, као што сте ви очекивали, него за $\frac{1}{2}$ сата.

У чем је ствар? Та, рачун је тако прост!

Прост, али нетачан. Не сме се мислiti да брзина истицања остаје једнака од почетка до краја. Када прва чаша истече из самовара, вода већ истиче под мањим притиском, јер се ниво воде у самовару спустио; разумљиво је да ће се друга чаша напунити за дуже време од пола минуте, трећа ће истицати још спорије итд.

Брзина истицања сваке течности кроз отвор на откривеној посуди налази се у непосредној зависности од висине стуба течности који стоји над отвором. Генијални Торичели, ученик Галилејев, указао је први на ту зависност и изразио је простом формулом:

$$v = \sqrt{2gh}$$

где је v — брзина истицања, g — убрзање теже, а h — висина нивоа течности над отвором. Из те формуле произлази да брзина истицања уопште не зависи од густине течности: лаки алкохол и тешка жива, при једнаком нивоу изнад отвора, истичу кроз отвор једнако брзо (сл. 56). Из формуле се види да би на Месецу, где је сила тежа 6 пута мања него на Земљи, било потребно да се напуни чаша, приближно $2\frac{1}{2}$ пута више времена него на Земљи.

Али, вратимо се нашем задатку. Ако је ниво воде у самовару (рачунајући од отвора славине), пошто је истекло 20 чаша, четири пута нижи, онда ће се 21 чаша напунити два пута спорије него прва. И ако доцније ниво воде постане девет пута нижи, онда ће бити потребно три пута више времена да се напуне последње чаше него што је требало да се напуни прва. Свима је познато како полако истиче вода на славину самовара који је већ скоро испражњен. Ако се тај задатак реши методама више математике, може се доказати да је време које је потребно за потпуно испражњење посуде два пута веће од времена у току кога би истекла иста количина течности, када би првобитни ниво остајао непромењен.



Сл. 56. Шта ће пре истећи: жива или алкохол? Ниво течности у обе посуде је једнак.

Задатак о басену

Од реченога је свега један корак до познатих задатака о басену, без којих нема ни једне збирке аритметичких и алгебарских задатака. Сви се сећају класично досадних сколастичких задатака као што је следећи:

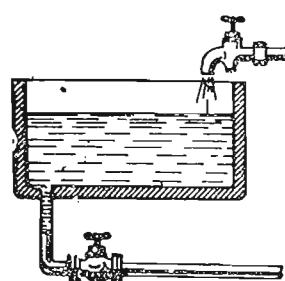
»Басен има две цеви. Кроз прву цев празан басен може да се напуни за 5 часова, кроз другу цев пун басен може

да се испразни за 10 часова. За колико ће се времена напунити празан басен, ако се отворе обе цеви истовремено?»

Задаци такве врсте су веома стари — без мало 20 века и допиру до Херсна Александриског. Ево једног од Херонових задатака који, истина, нису тако замршени као задаци његових наследника:

Четири чесме су дате. И пространи дат је басен.
За дан и ноћ га прва чесма до ивица његових напуни.
Два дана и ноћи две друга тај посао мора да врши.
Трећа је трипнут од прве слабија.
Са четири дана и ноћи последња за њом иде.
Одговорите сада ми ви да ли ће брзо бити пун,
Ако се чесме све отворе у исти мах?

Две хиљаде година решавају се задаци о басенима и — таква је снага навике! — две хиљаде година се решавају нетачно. Зашто нетачно разумејете и сами после оног што је малочас било речено о истицању воде.



Сл. 57. Задатак о басену.

басен под стално истим притиском и према томе равномерно, истицање се воде из басена не дешава при стално једнаком нивоу, те је, дакле, не равномерно. Из тога што се на другу цев басен испразни за 10 часова уопште не произлази да свакога сата истиче $\frac{1}{10}$ басена; школски пример решења је као што видимо погрешан. Задатак се не може правилно решити путем елементарне

Како се у школи решавају задаци о басенима? Први се задатак, на пример, решава свако: за један сат прва цев напуни $\frac{1}{5}$ басена, док се кроз другу цев испразни $\frac{1}{10}$ басена; дакле, када су отворене обе цеви у басену остаје свакога сата $\frac{1}{5} - \frac{1}{10} = \frac{1}{10}$, одакле произлази да је потребно 10 часова да се басен напуни. То расуђивање није исправно: ако се може сматрати да вода тече у

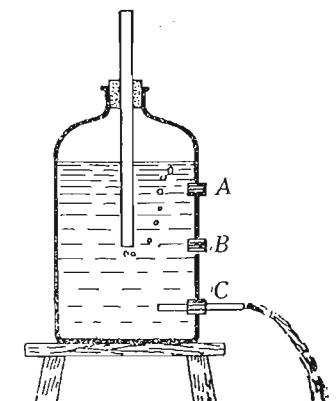
математику, те према томе задацима о басену (са истицањем воде) уопште нема места у збиркама аритметичких задатака.⁴³

Чудновата посуда

Може ли се направити таква посуда из које би вода истицала стално равномерним млаузом, не успоравајући свој ток, без обзира на то што се ниво течности у њој спушта? После онога што сте сазнали из претходних чланака ви сте, вероватно, готови да такав задатак сматрате нерешивим.

Међутим, то је потпуно остварљиво. Боца приказана на сл. 58, баш је таква чудна посуда. То је обична боца са уским грлићем, кроз чији је запушач увучена стаклена цев. Ако отворите славину С испод краја цеви, течност ће на њу истицати равномерно све дотле док се ниво воде у посуди не спусти до доњега краја цеви. Ако цев увучете скоро до нивоа славине, ви можете присилити сву течност из посуде да истече равномерним, макар и врло слабим млаузом.

Откуда то потиче? Пратите у мислима шта се догађа у посуди када се отвори славина С (сл. 58). При истицању ниво воде у посуди се спушта, а кроз стаклену цевчицу улази спољни ваздух у разређени ваздух под водом; он се пробија у меухурићима кроз воду и скупља се изнад ње у горњем делу посуде. Тада је на целом нивоу В притисак раван атмосферском притиску. Значи да вода из славине С истиче само под притиском слоја воде BC, јер се притисак од једне атмосфере у боци и изван ње на-



Сл. 58. Мариотова посуда.
Вода тече кроз отвор равномерно.

⁴³ Детаљнију анализу таквих задатака може наћи читалац у мојој књизи »Да ли знate физику?«

лазе у равнотежи. А како дебљина слоја *BC* остаје стално једнака, то није чудно што вода тече стално једнаком брзином.

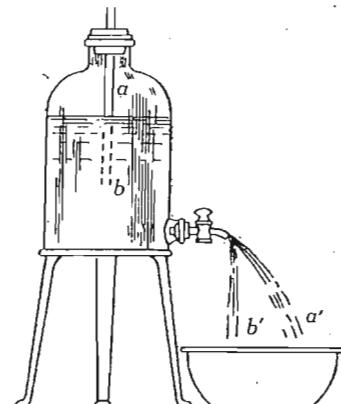
Покушајте сада да одговорите на питање: којом ће брзином истицати вода ако извучете чеп *B*, који је на висини краја цевчице?

Показаће се да она уопште не ће истицати (разуме се, ако је отвор тако мали да се његова ширина може занемарити; иначе ће вода истицати под притиском танког слоја воде високог колико је широк отвор). Утвари:

ту је и споља, и изнутра притисак раван атмосферском и ништа не присиљава воду да истиче.

А ако бисте извукли чеп *A* изнад доњег краја цеви, не само да вода не би истицала из посуде, него би у њу још и улазио спољни ваздух. Зашто? Из веома простог разлога: у том делу посуде је притисак ваздуха мањи него атмосферски притисак споља.

Ту је посуду са тако необичним својствима измислио чувени физичар Мариот и она је названа његовим именом — »Мариотова посуда«.



Сл. 59. Ако се цев подигне (*a*), вода тече снажном струјом (*a'*); ако се цев спусти ниско (*b*), вода тече слабом струјом (*b'*).

Бреме из ваздуха

Средином XVII века становници града Регенсбурга и владајући немачки кнезови на челу са царем, који су ту допутовали, били су сведоци чуднога призора: 16 коња је из све снаге настојало да раздвоји две бакарне полуслопте, које су биле састављене једна уз другу. Шта их је држало? »Ништа«, — ваздух. Па ипак, осам коња, који су вукли на једну страну, и осам који су вукли на другу, нису били у стању да их раздвоје. Тако је бургмајстор

Сто фси Герике показао на очиглед народа — да ваздух није »ништа«, да он има тежине и да врши притисак са великим снагом на све предмете на земљи.

Тај је оглед био извршен 8 маја 1654. г. на веома свечан начин. Учени бургмајстор је умео да све заинтересује за своја научна испитивања, без обзира на то што се ствар дешавала у јеку политичких нереда и пустошних ратова.

Опис чувеног огледа са »магдебуршким полукуглама« налази се у уџбеницима физике. Ипак ће, уверен сам, читалац са интересовањем саслушати причу о томе из уста самога Герике-а, тога »немачкога Галилеја«, како понекада називају чувеног физичара. Обимна књига, са описом дугачког низа његових експеримената, изашла је на латинском језику у Амстердаму 1672. г. Као и све књиге тога времена имала је спирлан наслов. Ево га:

ОТА фон ГЕРИКЕ-А

такозвани нови магдебуршки експерименти са
БЕЗВАЗДУШНИМ ПРОСТОРОМ

које је најпре описао професор математике
на Вирцбуршком универзитету ГАСПАР ШОТ.

Издање самога аутора,
проширено и допуњено разним новим експе-
риментима

Огледу који нас интересује посвећена је глава XXIII те књиге. Наводимо њен дословни превод:

»Оглед, који доказује да ваздушни притисак спаја две полукугле тако јако да их не може раздвојити 16 коња.«

»Поручио сам две бакарне полукугле са дијаметром од три четврти магдебуршког лаката⁴⁴. Али је утвари њихов дијаметар износио свега $\frac{67}{100}$, јер мајстори, по сличају, нису могли да израде тачно оно што се тражило.

⁴⁴ »Магдебуршки лакат« је дугачак 550 mm.

Обе су полукугле потпуно одговарале једна другој. Наједној је полукугли била направљена славина; помоћу те славине могао се уклонити ваздух изнутра и спречити продирање ваздуха споља. Поред тога, на полукугле су била причвршћена четири прстена, кроз које су се про-влачили конопи привезани за коњску запрегу. Дао сам такође да се сашије прстен од коже; био је натопљен смесом воска и терпентина; утиснут између полукугла тај је прстен спречавао да у њих продире ваздух. На славину је била постављена цев ваздушне пумле и из кугле је био-извучен ваздух. Тада се показало са каквом су снагом обе полукугле вршиле притисак једна на другу кроз-кожни прстен. Притисак спољњег ваздуха прибијао их је тако снажно да 16 коња није могло да их раздвоји или су то успевали тек с муком. А када су се полукугле, попуштајући највећем напрезању коња раздавале, разлегао се пуцањ, као од хитца.

А било је довољно окретом славине отворити слободан приступ ваздуху, — и полукугле су се лако могле раздвојити рукама.«

Једноставан рачун може нам објаснити зашто је потребна тако велика снага (8 коња са сваке стране) да би се раздвојили делови празне кугле. Ваздух врши притисак силом од око 1 кг на сваки кв. цм; површина круга⁴⁵ са дијаметром од 0,67 лакста (37 цм) износи 1.060 кв. цм. Дакле, атмосферски притисак на сваку полукугулу мора бити већи од 1.000 кг (1 тона). По 8 коња са сваке стране морало је, према томе, вући снагом од једне тоне да би савладало притисак спољњег ваздуха.

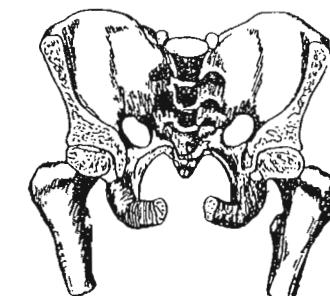
Изгледа, да за 8 коња (са сваке стране) то није велики терет. Не заборавите ипак да коњи, вукући на пример терет од једне тоне, не савлађују силу од једне тоне, него знатно мању и то — трење точкова о осовине и о земљу. А та сила претставља — на пример на друму —

⁴⁶ Узимље се површина круга, а не површина полукугле, зато што је атмосферски притисак раван помењеној величини само при дејству на површину под правим углом; за косе-површине тај притисак је мањи. У датом случају, ми узимљемо пројекцију куглице површине под правим углом на раван, тј. површину највећег круга.

свега 5%, тј. код терета од једне тоне — 50 кг (а да и не говоримо о томе да се при сједињавању напора које чини 8 коња губи, као што показује пракса, 50% снаге којом се вуче). Према томе, сила од једне тоне која делује на запрегу од 8 коња одговара колима са теретом од 20 тона. Ето какав је тај ваздушни товар, који су морали да вуку коњи магдебуршког бургмајстора! То је слично као да су морали покренути с места омању локомотиву, која усто није постављена на трачнице.

Измерено је да јак теретни коњ вуче кола снагом од свега 80 кг.⁴⁶ Према томе, да би се раздвојиле магдебуршке полукугле, било би потребно, при мирној вучи $\frac{1.009}{80}$ = по 13 коња са сваке стране.⁴⁷

Читалац ће се, вероватно, зачудити кад сазна да се неки зглобови нашега скелета не разстављају из истог узрока из кога и магдебуршке полукугле. Наши карлично бедрени зглобови претстављају баш такве магдебуршке полукугле. Са зглобова се могу скинути мишићне и рскавичаве везе, — и бедрена кост ипак неће испasti: њу држи атмосферски притисак, јер у међупростору нема ваздуха.



Сл. 60. Кости наших карлично бедрених зглобова не распадају се захваљујући атмосферском притиску, слично као што се држе магдебуршке полукугле

Нови Херонови водоскоци

Обична форма водоскока, који се приписује античком механичару Херону, вероватно је позната мојим читаоцима. Потсетићу овде на његову конструкцију пре него

⁴⁶ При брзини од 4 км на сат. Узимље се просечно да снага коњске вуче износи 15% тежине коња. Тежина коња износи, приближно, код лакших 400 кг, код тешких 750 кг. За веома кратко време (почетни напор) снага вуче може бити неколико пута већа.

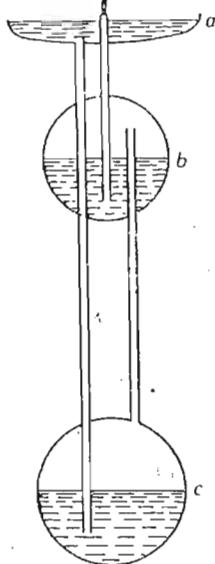
⁴⁷ Објашњење зашто је потребно по 13 коња са сваке стране. наћи ће читалац у мојој »Занимљивој механици«.

што пређемо на опис најновијих модификација тога интересантнога прибора. Херонов водоскок (сл. 61) састоји се од 3 посуде: од горње отворене посуде (*a*) и 2 кугласте, *b* и *c*, које су херметички затворене. Посуде су везане са три цеви, чији је смештај показан на слици. Када је у *a* мало воде, кугла *b* напуњена водом, а кугла с ваздухом, — водоскок почиње да дејствује. Вода тече кроз цев *a* из *a* у *c*, потискујући отуда ваздух у куглу *b*; под притиском тога ваздуха јури вода из *b* кроз цев у вис и избија као водоскок изнад посуде *a*. Када се кугла *b* испразни, тј. сва вода из ње пређе у куглу *c*, водоскок престаје да ради.

Такав је стари облик Хероновог водоскока. У наше време један учитељ у Италији, посубјен оскудним уређајима свога физичког кабинета, пронашао је начин да посједноставнији конструкцију Хероновог водоскока и смислио је такве његове модификације, које може свак направити помоћу најједноставнијих средстава (сл. 62). Уместо кугли он употребљава апстекарске бочице; уместо стаклених или металних цеви си узима гумене. Горња посуда не мора бушити: у њу се могу просто увести крајеви цеви, као што је показано на сл. 62 горе.

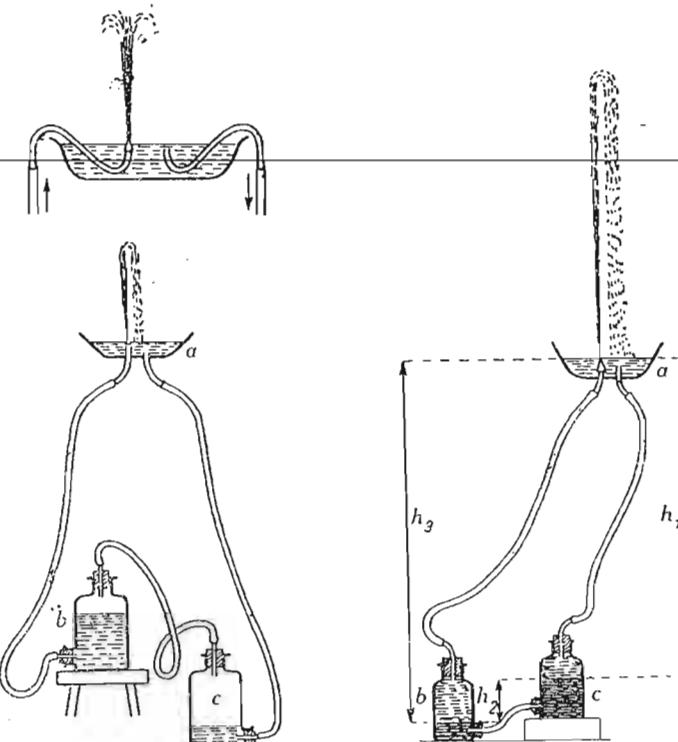
Код ове је модификације прибор много згоднији за употребу: када се сва вода из бочице *b* прелије кроз посуду *a* у бочицу *c*, могу се просто преместити бочице *b* и *c* и водоскок поново ради; не треба заборавити, разуме се, да се премести такође и прево на другу цев.

Друга погодност ове модификације водоскока састоји се у томе, што он даје могућност да се по вољи мења положај посуда и да се испитује како утиче разлика у висинама на којима се налазе посуде, на висину коју достиже водени млаз.



Сл. 61. Стари Херонов водоскок

Ако жељите да више пута повећате висину млаза, то можете постићи ако у доњим бочицама описаног прибора воду замените живом, а ваздух водом (сл. 63). Рад прибора је разумљив: жива, прелазећи из бочице с у бо-



Сл. 62. Савремена модификација Хероновог водоскока. Горе — варијанта конструкције таљирача

Сл. 63. Водоскок који делује услед притиска живе. Млаз избија на висину која је 10 пута већа од разлике између висине једног и другог нивоа живе

чицу *b*, истискује из ње већу присиљавајући је да избија у водоскоку. Знајући да је жива 13½ пута тежа од воде, можемо да израчунамо на коју висину мора при томе избити водени млаз. Означимо разлику између висина нивоа са h_1 , h_2 , h_3 . Погледајмо сада под дејством којих сила прелази живу из посуде *c* (сл. 63) у посуду *b*. Жива

у цеви која везује посуде подвргнута је притиску са две стране. С десна на њу делује притисак разлике између два живина стуба h_2 (а тај је притисак раван притиску који би вршио водени стуб $13\frac{1}{2}$ пута виши, дакле $13\frac{1}{2} \cdot h_2$) плус притисак воденог стуба h_1 . Са леве стране притискује водени стуб h_3 . Жива, дакле, тече снагом

$$13\frac{1}{2} h_2 + h_1 - h_3.$$

А како је $h_3 - h_1 = h_2$, то ћемо заменити $h_1 - h_3$ са минус h_2 и добићемо

$$13\frac{1}{2} h_2 - h_2$$

тј. $12\frac{1}{2} h_2$. Дакле, жива прелази у посуду b под притиском тежине воденог стуба високог $12\frac{1}{2} h_2$. Теориски би водоскок морао избијати на висину која је равна разлици између нивоа живе у бочицама помноженој са $12\frac{1}{2}$. Трење унеколико смањује ту теориску висину.

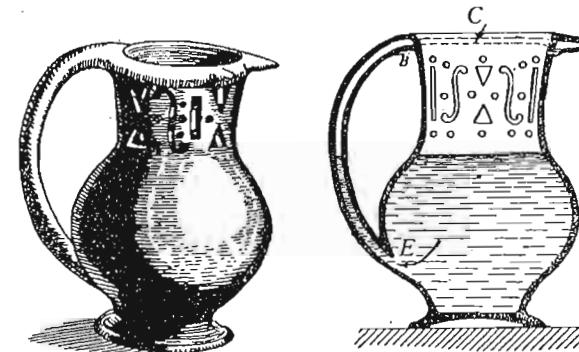
Описани прибор пружа могућност да се добије млаз који избија снажно у вис. Да би, на пример, водоскок избијао на висину од 10 м, дововољно је подигнути једну бочицу изнад друге приближно за један метар. Интересантно је, као што се види из нашег рачуна, да висина тањира a изнад бочица са живом не утиче нимало на висину млаза.

Варљиве посуде

У старо време — у XVII и XVIII веку — великаши су се забављали сваком поучном играчком: правили су бокале или ибрике који су у горњем делу имали велике изрезе у облику орнамената (сл. 64). Такав су бокал, наливен вином, нудили каквом беззначајном госту с којим су се могли некажњено нашалити. Како да се пије из њега? Нагнути се не сме: вино ће се пролити кроз мноштво рупица и до уста неће стићи ни капљица. Десиће се као у бајки:

Мед и пиво пио,
а ж' бркове једва поквасио.

Али, ко је знао тајну како су били направљени такви бокали, — тајну која је показана на сл. 64 десно, — тај је затварао прстом отвор B , у уста стављао носац и вукао у себе течност не нагињући посуду: вино се дизало



Сл. 64. Варљиви бокал из XVIII века и његова тајна

кроз отвор E у канал дршка, а затим је даље, кроз његово продолжење C у горњем рубу бокала, стизало до носца.

Још до недавно су наши грнчари израђивали такве бокале. Једном сам у једној кући видео узорак тога њиховог рада, који је прилично вешто крио тајну посуде. На бокалу је био натпис »Пиј, али немој да се полијеш«.

Колико је тешка вода у преврнутој чаши?

— Није ни тешка, разуме се, — кажете ви, у таквој чаши воде нема, она се пролије.

— А ако се не пролије? — питам ја. — Шта онда?

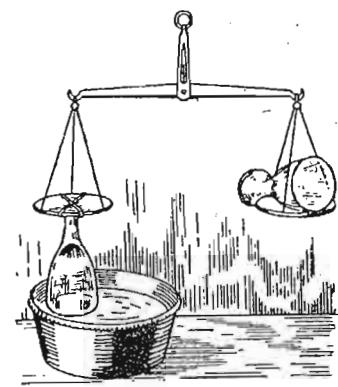
Стварно, вода се може задржати у изврнутој чashi а да се не пролије. Такав је случај приказан на сл. 65. Изврнута чаша, која је везана дном за један тас теразија, напуњена је водом која се, из ње не излева, јер су крајеви чаше загијурени у посуду са водом. На други тас теразија стављена је иста таква чаша, празна.

Који ће тас теразија претегнути?

Претегнуће онај уз који је привезана преврнута чаша с водом. Та чаша носи одозго пун атмосферски притисак, а одоздо — атмосферски притисак умањен за тежину воде која се у чаши налази.

Да би се постигла равнотежа оба таса, било би потребно напунити водом чашу која се налази на другом тасу.

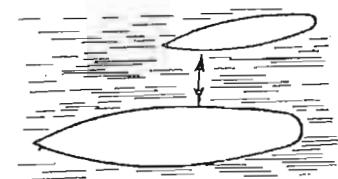
При реченим условима, према томе, вода у преврнутој чashi тешка је исто толико колико и у чashi постављеној усправно.



Сл. 65. Који ће тас претегнути?

Због чега се привлаче бродови?

У јесен 1912. г. додгодио се прекоокеанском пароброду »Олимпик« — тада једном од највећим бродова у свету — следећи случај. »Олимпик« је пловио на отвореном мору, а скоро паралелно с њим, на растојању од стотину метара, пролазио је са великом брзином други, знатно мањи — оклопна крстарица »Гаук«.



Сл. 66.
Положај пароброда »Олимпик«
и »Гаук« пред судар

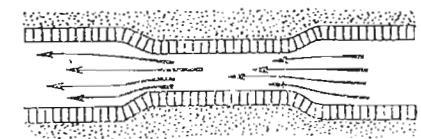
је пробио кљуном бок »Олимпика«. Ударац је био тако снажан да је »Гаук« направио на трупу »Олимпика« велику рупу.

Када је тај чудни случај расправљен у поморском суду, као кривац био је означен капетан гигантског »Олимпика« зато што није, — гласила је одлука суда, — дао никаква наређења да се начини пут »Гауку« који је пловио попреко на њу.

Суд, према томе, ту није видео ничег необичног: прости капетанова неумешност и ништа више. А међутим, радило се о потпуно непредвиђеној околности — о случају уз ајманог привлачења бродова на мору.

Такви су се случајеви дешавали, вероватно, и раније при паралелном кретању два брода. Али раније, кад се нису градили тако велики бродови, та се појава није дешавала са таквом снагом. Тек последњих година, када су »пловећи градови« почели да браздају воде океана, појава привлачења бродова примећивала се у знатно већој мери; са њом се сусрећу нарочито команданти ратних бродова на маневрима.

Многобројна оштећења малих бродова, који су пловили у близини великих путничких и ратних бродова, вероватно су се дешавала из истог узрока.

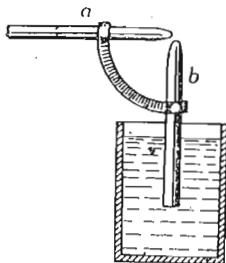


Сл. 67. У уским деловима канала вода тече брже него у широким, али на зидове врши мањи притисак него у широким каналима

Чиме се објашњава то привлачење? Наравно, овде не може бити говора о привлачењу по Њутновом закону гравитације; већ смо видели (у глави IV), да је то привлачење и сувише беззначајно. Узрок те појаве потпуно је друге врсте и објашњава се законима струјања течности у цевима и каналима. Може се доказати да течност, када тече кроз канал који има ужа места и проширења, у уским деловима канала тече брже и врши на зидове канала слабији притисак него ли на широким местима, на којима протиче мирније, а на зидове врши јачи притисак (такозвано »Бернулијево начело«).

То вреди и за гасове. Та се појава у науци о гасовима назива Клеман-Дезормов ефекат (по именима фи-

зичара који су га открили), а често се назива и »аеростатичким парадоксом«. Та је појава, како се вели, први пут била случајно утврђена под следећим околностима: у једном француском руднику било је наређено раднику да затвори поклопац на отвору спољњег окна кроз које је у окно убациван компримиран ваздух. Радник се

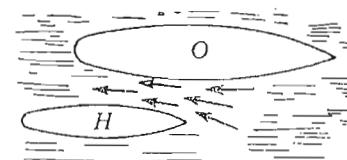


Сл. 68. Пулверизатор

дugo борио са струјом ваздуха који је продирао у окно, али је изненада поклопац сам од себе нагло затворио окно са таквом снагом да би био увучен у отвор за вентилацију заједно са преплашеним радником, да случајно није био довољно велик. Између осталог, том се особином струјања гасова објашњава и дејство пулверизатора. Када дувамо кроз цев *a* (сл. 68), која се завршава једним сужењем, онда ваздух, који

прелази у сужени део, смањује свој притисак. На тај се начин изнад цеви *b* појављује ваздух са смањеним притиском и стога атмосферски притисак тера течност из чаше кроз цев увис. На отвору течност упада у ваздушну струју и у њој се распружава.

Сад ћемо разумети где се крије узрок привлачења бродова. Када два пароброда плове паралелно један с другим, између њихових бокова настаје сужење као водени канал. У обичном су каналу зидови непокретни, а креће се вода. Овде је, напротив, непокретна вода а крећу се зидови. Али се дејство сила због тога нијеколико не мења: на уским местима покретног канала вода врши слабији притисак на зидове, него ли у простору око паробroда. Другим речима: бокови паробroда, који су окренuti један према другоме, трпе мањи водени притисак него спољни делови брода. Шта мора да се деси услед тога? Бродови морају, под притиском спољне воде, кренути један према дру-



Сл. 69. Водена струја између два брода који плове

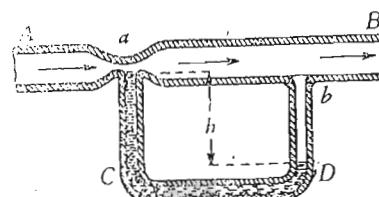
гоме и, природно, уколико је брод мањи, утолико се прати и покретају брзаци, као и дејство вирова. Може се израчунати да струја воде у реци, при умереној брзини од 1 м у секунди, вуче човечије тело снагом од 30 кг. Против такве силе није се лако одржати, нарочито у води када нам властита тежина нашега тела не помаже да сачувамо стабилност. Најзад и општепознато дејство привлачења које врши воз, брзо јурећи, објашњава се тим истим Бернулијевим начелом: воз који јури брзином од 50 км на сат вуче човека, који стоји у близини, снагом од приближно 8 кг.

Појаве у вези са »Бернулијевим начелом«, ма да су и веома честе, слабо су познате међу нестручњацима. Стога ће бити корисно да се на томе начелу више задржимо. У следећим редовима доносимо одломак из популарног члanka о томе питању, који је написао за један популарно-научни часопис савремени амерички физичар професор В. Франклин.

Бернулијево начело и његове последице

Начело које је први пут изразио Даниел Бернули 1726 године гласи: у воденој или ваздушној струји притисак је велики ако је брзина мала, а притисак је мали ако је брзина велика. Постоје изврсна ограничења тога начела, али се овде на њима нећemo задржавати.

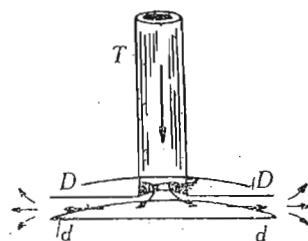
Ваздух се дува кроз цев *AB*. Ако је пресек цеви мали, као што је у *a*, — брзина ваздуха је велика; а тамо где је пресек велики, — као у *b*, — брзина ваздуха је мала.



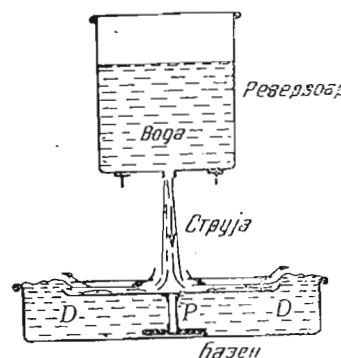
Сл. 70. Илустрација Бернулијевог начела. У суженом делу (*a*) цеви *AB* притисак је мањи него у широком делу (*b*).

Тамо, где је брзина велика, притисак је мали, а где је брзина мала, — притисак је велики. Услед малог притиска ваздуха у *a* подиже се течност у цеви *C*; истовремено јак притисак ваздуха у *b* присиљава течност у цеви *D* да се спушта.

На сл. 71 цев *T* причвршћена је на бакарни диск *DD*; ваздух се дува кроз цев *T* и даље поред слободног диска *dd*⁴⁸. Ваздух између два диска има велику брзину, али та брзина нагло опада уколико се иде према крајевима диска, јер пресек ваздушне струје брзо расте и надјачава инерцију ваздуха који истиче из простора између диска. Али је притисак ваздуха око диска велик јер је брзина мала, а притисак ваздуха између оба диска мали, јер је брзина велика. Због тога ваздух који окружава диск има веће дејство на оба диска, тежећи да их приближи, него ваздушна струја између диска, која тежи да их растави. Резултат је то да се диск *dd* приљуби уз диск *DD* утолико јаче уколико је јача ваздушна струја у *T*.



Сл. 71. Оглед са дискосима (види текст)



Сл. 72. Диск *DD* се подиже на осовини *P* када на њега тече струја воде из резервоара *TT*

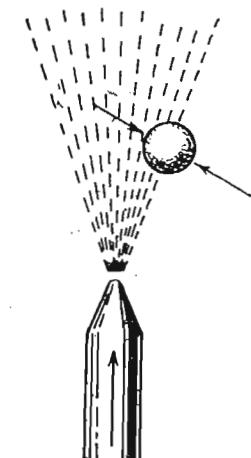
Сл. 72 претставља аналогију слике 71, али само са водом. Вода која се брзо креће на диску *DD* налази се на ниском нивоу и сама се диже до вишег нивоа мирне воде у басену, када прелази преко крајева диска. Према

⁴⁸ Тада се експеримент може извести једноставније ако се употреби калем и кружић од хартије. Да кружић не би спадао са калемом устранију, прибија се иглом која пролази у шупљину калема.

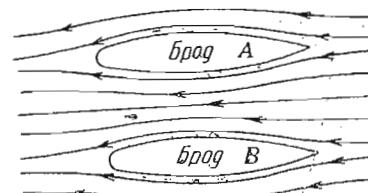
томе, мирна вода испод диска има већи притисак него текућа вода на диску, услед чега се диск подиже. Потпруга *P* не допушта бочно скретање диска.

Сл. 73 показује лаку куглу која лебди у ваздушној струји. Ваздушна струја удара у куглу и недаје јој да падне. Када кугла искочи из струје, околни ваздух је враћа на зад у струју, јер је притисак околног ваздуха, који има малу брзину, велик, а притисак ваздуха у струји, који има велику брзину, мали.

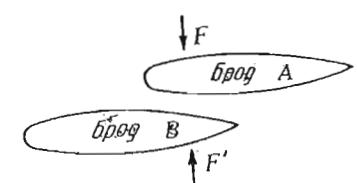
Слика 74 претставља два брода који се крећу један поред другог у мирној води или, што се своди на исто, који стоје један према другоме у текућој води. Струја је најужа у простору између бродова и брзина воде је у томе простору већа, него са две спољне стране бродова. Због тога је притисак воде између бродова мањи, него са обе њихове спољне стране; већи притисак воде, која окружава бродове, тежи да их приближи. Морнари врло добро знају да се два брода, који плове напоредо, снажно узајамно привлаче.



Сл. 73. Кугла коју подупира ваздушна струја



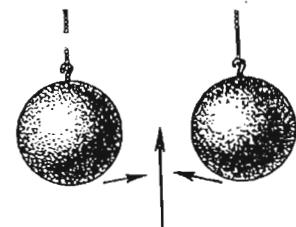
Сл. 74. Када се два брода крећу паралелно чини се као да привлаче један другог



Сл. 75. При кретању напред брод *B* се окреће кљуном према броду *A*

Озбиљнији случај може наступити када једна лађа плови за другом, као што је показано на сл. 75. Две силе

F и F' , које делују на лађу у смислу њиховог приближавања, настоје да их окрену, при чему се брод B окреће према броду A са великим снагом. Судар је у таквом случају скоро неизбежан, јер крма не успева да изменi правац кретања лађе.



Сл. 76. Ако се између две лаке кугле дува ваздух, оне ће се приближити тако да ће се додирнути

Појава описана у вези са сл. 74 може се демонстрирати ако се дува ваздух између две лаке гумене лоптице обешене као што је показано на сл. 76. Ако се између њих дува ваздух, оне ће се приближити и ударити једна о другу.

Сврха рибљег мехура

О улози рибљег мехура обично се говори и пише — на изглед потпуно веродостојно — следеће: Када риба жели да исплива из дубине у горње слојеве воде, она надува свој мехур; тада се волумен њеног тела повећава, тежина истиснуте воде постаје већа од њезине властите тежине — и, риба се, по закону пливања, диже увис. А када хоће да прекине подизање или да се спусти доле она, напротив, стеже свој мехур. Волумен се тела умањује, а с њим и тежина истиснуте воде, и риба се спушта на дно, у складу са Архимедовим законом.

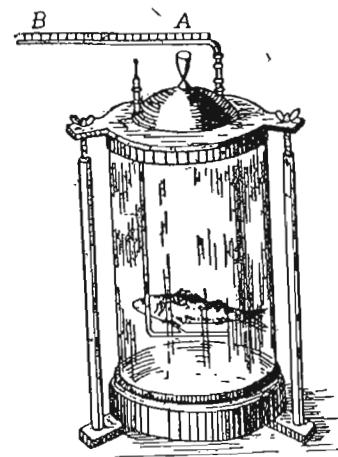
Таква једноставна претстава о сврси рибљег мехура потиче још од времена научника Флорентинске академије (XVII век). Њу је формулисао професор Борели 1685. г. У току више од 200 година она је прихватана без приговора и успела је да се учврсти и у школским уџбеницима, — и тек је радовима нових испитивача (Моро, Шарбонел) утврђена потпуна неодрживост те теорије.

Мехур има, несумњиво, веома тесну везу са пливањем риба, јер су рибе, код којих је мехур био вештачки уклоњен, могле да се одрже у води само напорним радом пе-

раја, а чим би престале да раде перајима падале би на дно. Каква је његова права улога? Веома ограничена: он само помаже риби да остане на одређеној дубини, — и то на оној на којој је тежина воде, коју риба истискује, једнака тежини саме рибе. Када се риба радом пераја спусти испод тога нивоа, њено се тело, које трпи већи спољни притисак воде, збија и притискује мехур. Тежина истиснутог волумена воде се умањује, постаје мања од тежине рибе, и риба пада доле. У колико се она спушта ниже, у толико постаје јачи притисак воде (по једну атмосферу при спуштању на сваких десет метара), те се у толико више притискује тело рибе и у толико брже продужује њено спуштање.

То се исто дешава, само у обрнутом правцу, када риба напусти слој у коме се налазила у равнотежи и радом својих пераја пређе у више слојеве. Њено се тело ослободи једног дела спољњег притиска и прошири се дејством мехура (у коме се притисак гаса налазио до тога часа у равнотежи са притиском околне воде), добијајући већи волумен, услед чега се диже у вис. Што се риба више диже, све се више њено тело шири и, према томе, све је бржи њен даљњи успон. Риба није у стању да се томе одупре »стискајући мехур«, јер видови њеног мехура немају мишићних влакана који би могли активно променити његов волумен.

Да се такво пасивно ширење обима тела стварно дешава код риба, потврђује се следећим експериментом (сл. 77). Укљева се у хлороформисан стању смести у затворену посуду са водом и у посуди се одржава повећани притисак, приближен ономе који влада на одређеној дубини у природном рибљаку. На површини воде лежи риба неактивно,



Сл. 77 Експеримент са укљевом

трбухом окренутим горе. Ако се загњури мало дубље, она се поново диже на површину. Ако се стави ближе дну, она пада на дно. Али у размаку између оба нивоа постоји слој воде у коме риба остаје у равнотежи, не тоне и не диже се. То све постаје разумљиво ако се сетимо малочас реченог о пасивном ширењу и скупљању рибљег мехура.

Према томе, насупрот рас прострањеном мишљењу, риба не може уопште да по волишиши и стеже свој ме хур. Промене његовог волумена дешавају се пасивно под дејством појачаног или ослабљеног спољњег притиска (сагласно Бојл-Мариотовом закону). Те су промене волумена за рибу не само некорисне, него јој, напротив, чине штету јер условљавају све брже падање на дно које се не да задржати, или исто тако незадржivo и све брже дизање на површину. Другим речима, ме хур помаже риби да у непокретном стању сачува равнотежу, али је та равнотежа не стабилна.

Запажања из риболова то потврђују. При пецању риба у великој дубини дешава се да се понека риба ослободи на половини пута; али, насупрот очекивању, она се не спушта поново у дубину, из које је била извучена, него се, напротив, нагло диже на површину. Код таквих се риба понекад и примећује да ме хур провира кроз уста.

Таква је права улога рибљег ме хура, — уколико је реч о његовом односу према пливању; да ли он има та које и друге функције у рибљем организму и какве су оне, — није познато, те је тај орган још увек загонетан. Једино се његова хидростатичка улога може сада сматрати потпуно објашњеном.

Таласи и вихори

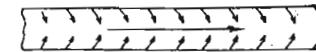
Многе од свакодневних физичких појава не могу бити објашњене на основу елементарних физичких закона. Чак и тако често посматрана појава, као што је таласање мора у ветровит дан, не може се исцрпно објаснити у оквиру школског учења физике. А шта условљава таласе који се у мирној води разилазе од кљуна пароброда у по-

кretу? Зашто се лепршају заставе на ветровитом времену? Зашто је таласаст песак на морској обали? Зашто се ковитла дим који излази из фабричког димњака?

Да би се објасниле те и њима сличне друге појаве, потребно је знати особености такозваног вихорног кретања течности и гасова. Потрудићемо се да овде кажемо нешто о вихорима, пошто се у школским уџбеницима вихори једва спомињу.



Сл. 78. Мирни (»ламинарни«) ток течности у олуку



Сл. 79. Вихорни (»турбулентни«) ток течности у олуку

Замислимо течност која тече у олуку. Ако се сви делови течности крећу при томе дуж олука у паралелним линијама, онда је пред нама најједноставнији облик кретања течности — мирни, или, како физичари веле, »ламинарни« ток. Ипак, то није чест случај. Напротив, течности у олуцима много чешће теку немирно; од зидова олука иду вихори према његовој осовини. То је вихорно или турбулентно кретање. Тако тече, на пример, вода у цевима водоводне мреже (ако се немају у виду уске цеви у којима је ток ламинаран). Вихорни ток се запажа увек када брзина тока дате течности у цеви (датог дијаметра) достигне одређену величину — такозвану критичну брзину.⁴⁹

Вихори у течности која иде кроз цев могу се учинити видљивим, ако се у провидну течност, која тече у стакленој цеви, унесе мало лакога прашка, на пример ликоподија. Тада се јасно запажају вихори, који иду од зидова цеви према њеној осовини.

Та се особеност вихорног тока искоришћује у технички при прављењу хладњача и расхлађивача. Течности које теку турбулентно у цеви са расхлађујућим зидовима,

⁴⁹ Критична је брзина за ма коју течност управно пропорционална везивности течности и обратно пропорционална њеној густини и дијаметру цеви кроз коју течност тече. (Детаљније у књизи В. Ј. Кирличова: »Разговори из механике«, разговор седми.)

много брже доводе све своје честице у додир са хладним зидовима него при кретању без вихора. Треба се сетити да су течности саме по себи слаби проводници топлоте и да се хладе или загревају веома полако ако се не мешију. Жива размена топлоте и материја између крви и ткива које она исхрањује могућа је, такође, само због тога, што је ток крви у крвним судовима вихорски а не ламинаран.

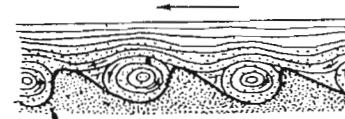
Оно што је речено о цевима важи у једнакој мери и за отворене канале и речна корита: у каналима и рекама вода тече турбулентно. При тачном мерењу брзине речне струје инструмент установљава пулсације, нарочито близу дна: пулсације указују на стално мењање правца тока тј. на вихоре. Делићи речне воде се крећу не само дуж речног корита, као што обично људи замишљају, него такође и од обала према средини. Одатле потиче и нетачно тврђење да у дубини реке вода има у току целе године једну исту температуру и то $+4^{\circ}\text{C}$: услед мењања температуре текуће воде је близу дна реке (али не и језера) иста као и на површини.⁵⁰

Вихори, који се образују на речном дну, повлаче за собом лаки песак и ту стварају пешчане »таласе«. То исто може да се види и на песковитој обали мора коју запљускују таласи (сл. 80). Кад би ток воде у близини дна био миран, песак би на дну имао равну површину.

Дакле, у близини површине тела које запљускује вода образују се вихори. О њиховом нам постајању говори, на пример, змијолико извијање конопца испруженог дуж воденог тока (када је један крај конопца привезан а други слободан). Шта се ту дешава? Вихор који се образовао близу једног делића конопца вуче тај део за собом, али, у следећем тренутку тај део конопца вуче други вихор на супротну страну и тако се добија змијолико вијугање (сл. 81).

Прећимо од течности на гасове, од воде — на ваздух. Ко није видео како ваздушни вихори дижу са земље прашину, сламу итд. То је појава вихорног ваздушног струјања дуж земљине површине. А када ваздух струји дуж водене површине, онда се на местима, на којима се обра-

зују вихори, услед тога што је ту притисак смањен, вода издизје гребенасто — ствара се таласање. Из истог се узрока појављују пешчани таласи у пустињи и на косим падинама дина (сл. 83).

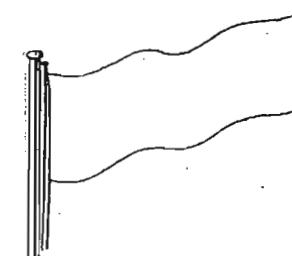


Сл. 80. Образовање пешчаних таласа на морској обали под дејством водених вихора



Сл. 81. Таласасто кретање ужета у текућој води условљено је образовањем вихора

Лако је сада разумети зашто се лепрша застава на ветру: с њом се догађа исто што и са конопцем у текућој води. Тврда плочица димовука не одржава на ветру сталан правец, него се стално колеба покоравајући се ветру.



Сл. 82. Лепршање заставе на ветру

Таквог истог вихорног порекла су и клубоди дима који излази из фабричког димњака: гасови пролазе кроз димњак у вихорном кретању које се продужује неко време услед инерције и изван димњака (сл. 84).

Од великог је значаја турбулентно кретање ваздуха за авијацију. Авионским крилима се даје такав облик да само крило испуњава оно место на коме би се иначе, испод крила, појављивао разређени ваздух, а дејство вихора изнад крила се, напротив, самим обликом крила појавчава. Резултат тога је да ваздух крило одоздо подупире, а одозго вуче (сл. 85). Слична је појава и лебдење птица у ваздуху са распиреним крилима.

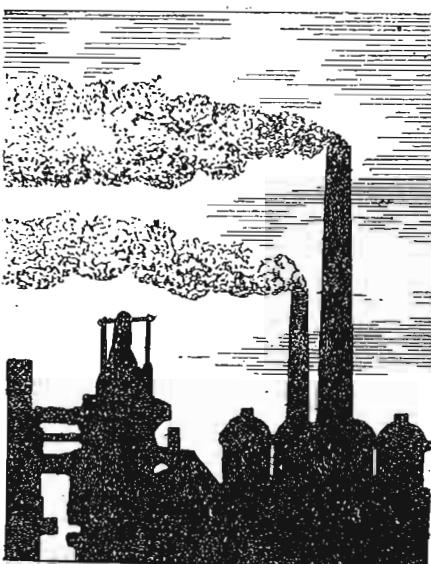
Како делује ветар који дува изнад крова? Вихори стварају изнад крова разређен ваздух. Тежећи да изједначи притисак, ваздух испод крова, повучен у вис притискује на кров. И као резултат тога се дешава оно што се, нажалост, често види: лак и слабо причвршћен кров

⁵⁰ Види моју књигу »Да ли знате физику?«, § 133.

ветар односи. Велика прозорска стакла испадају на ветру из истог разлога, то јест услед притиска изнутра (а не ломе се услед притиска споља).



Сл. 83. Таласаста површина песка у пустињи



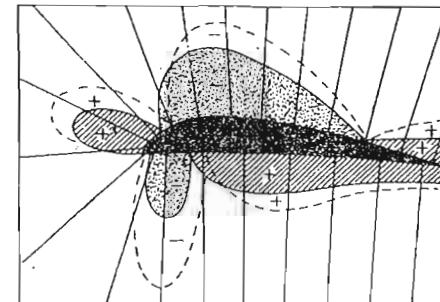
Сл. 84. Клобуци дима који излазе из фабричког димњака

Међутим, те се појаве једноставније објашњавају смањењем притиска до кога долази у ваздуху који се креће (види горе: »Бернулијев принцип« стр. . .).

Када две ваздушне струје разне температуре и влажности теку једна поред друге, у свакој се од њих поjavљују вихори. Разноврсне форме облака су, у знатној мери, условљене тим узроком.

Видимо како је широк круг појава у вези са вихорним струјањима. Међутим, закони самих вихорских кретања су још далеко од тога да буду проучени: ова област представља за математско испитивање огромне тешкоће које наука још мора да савлада. Ко жели да се детаљније упозна са овде додирнутим појавама, под условом озбиљног и систематског рада над књигом, томе можемо пре-

поручити »Курс аеродинамике« П. М. Ширманова. Тај се приручник одликује јасноћом излагања и не тражи од читаоца знање више математике.



Сл. 85. Којим је силама изложено крило авиона. Распоред притисака (+) и разређености (—) ваздуха на крилу према најновијим искуствима. Као резултат свих напрезања која на крило делују, оних која подупира и која вуку, крило се потискује увис. (Линије показују распоред притиска; тачкасте линије — то исто при наглом повећању брзине лета.)

Путовање у Земљину утробу

Још се ниједан човек није спустио у Земљу дубље од $2\frac{1}{2}$ км, — а међутим, радиус земљине кугле износи 6.400 км. До земљиног средишта остаје још веома дугачак пут. Али је, без обзира на то, досетељиви Жил Верн спустио дубоко у земљину утробу своје јунаке — чудака-професора Лиденброка и његовог братића Аксела. У роману »Пут у средиште Земље« описао је чудне доживљаје тих подземних путника. Међу изненађењима на које су они нашли испод земље, било је, између остalog, и повећање густине ваздуха. Са дизањем у вис ваздух се веома брзо разређује: његова се густина смањује у геометријској прогресији док висина расте у аритметичкој прогресији. Напротив, при спуштању доле, испод нивоа океана, ваздух под притиском горњих слојева постаје све гушћи. Подземни путници су, наравно, то морали да примете.

Ево какав се разговор водио између стрица-научника и његовог братића на дубини од 12 морских миља (48 км) у утроби Земљиној.

»— Погледај, шта показује манометар? — упита стриц.

— Веома јак притисак.

— Сада видиш како се ми, спуштајући се полако, постепено привикавамо на згуснути ваздух и од тога не патимо.

— Ако не рачунамо бол у уштима.

— Ситнице!

— Добро, — одговорио сам одлучивши да не противречим стрицу. — Чак је и пријатно налазити се у згуснутом ваздуху. Јесте ли приметили како се у њему гласно разлежу звуци?

— Наравно. У тој би атмосфери чак и глух могао да чује.

— Али ће ваздух постајати све гушћи. Неће ли он, на крају крајева; доћи до густине воде?

— Наравно: под притиском од 770 атмосфера.

— А још ниže?

— Густина ће се још више повећати.

— А како ћемо се ми тада спуштати?

— Натрпаћемо камење у цепове.

— Ех, стриче, ви имате па све одговор!

Нисам се упуштао даље у област нагађања, јер бих, можда, опет измислио неку препреку, што би расрдило стрицу. Било је, међутим, очевидно, да под притиском од неколико хиљада атмосфера може ваздух прећи у чврсто стање, а тада бисмо се морали зауставити, претпостављајући чак да бисмо могли издржати такав притисак. А ту већ никаква дискусија не би помогла.«

Фантазија и математика

Тако прича романописац. Али, неће се показати тако, ако проверимо чињенице о ќојима се говори у томе одломку. Нећемо због тога морати да се спуштамо у земљину утробу; за малу екскурзију у област физике потпуно је довољно да се снабдемо оловком и хартијом.

Пре свега потрудимо се да одредимо на коју дубину је потребно спустити се, па да атмосферски притисак порасте за хиљадити део. Нормални атмосферски притисак је раван тежини стуба живе високог 760 милиметара.

Кад бисмо били загњурени у живу, уместо што се налазимо у ваздуху, морали бисмо се спустити за свега $\frac{760}{1.000} = 0,76$ мм, па да се притисак повећа за хиљадити део. У ваздуху се, наравно, морамо у том циљу спустити знатно дубље, и то за онолико пута дубље за колико је пута ваздух лакши од живе — тј. 10.500 пута. Дакле, да би се притисак повећао за хиљадити део од нормалног, морали бисмо се спустити не за 0,76 мм као у живи, него за $0,76 \times 10.500$, тј. скоро за 8 м. Када се спустимо за даљих 8 м, притисак ће нарасти за још један хиљадити део своје величине итд.⁵¹ Ма на којој се ми висини налазили — на самом »плафону света« (22 км), на врху Монт-Евереста (9 км) или близу површине океана — морамо се спустити за 8 метара, да би атмосферски притисак порастао за хиљадити део своје претходне величине. Добија се према томе ова таблица пораста ваздушног притиска са повећањем дубине:

$$\begin{aligned} \text{На површини земље притисак } 760 \text{ mm} &= \text{нормалан}, \\ \text{на дубини од } 8 \text{ m притисак} &= 1,001 \text{ нормалнога}, \\ \text{» } &\quad \text{» } 2 \times 8 \text{ m притисак} = (1,001)^2 \text{ нормалнога}, \\ \text{» } &\quad \text{» } 3 \times 8 \text{ m } \quad \text{»} = (1,001)^3 \text{ } \text{»} \\ \text{» } &\quad \text{» } 4 \times 8 \text{ m } \quad \text{»} = (1,001)^4 \text{ } \text{»} \end{aligned}$$

И, уопште, на дубини од $n \times 8$ m атмосферски притисак је већи од нормалног за $(1,001)^n$ пута; и док притисак није сувише велик за толико исто пута се повећава и густина ваздуха (Маријотов закон).

Додајмо да се у овоме случају ради, као што се види из романа, о предирању у дубину Земље свега за 48 километара и да се због тога не мора узимати у обзир слабљење силе теже и у вези с тиме смањење тежине ваздуха.

⁵¹ Слојеви ваздуха од по 8 метара, који следе једним иза других, увек су гушћи од претходних, и због тога је и само повећање притиска у апсолутној количини веће него у претходном слоју. Али оно и мора бити веће, јер се сваки пут добија хиљадити део од притиска већег него што је био претходни.

Сад можемо приближно израчунати колики је био тај притисак што су га подземни путници Жила Верна осећали на дубини од 48 км (48.000 м). У нашој формуламо n је једнако $\frac{48.000}{8} = 6.000$. Ваља израчунати колико је $1,001^{6.000}$. Како је множење броја 1.001 самог са собом 6.000 пута прилично досадан посао и одузео би много времена, то ћемо се обратити помоћи логаритама, о којима је тачно рекао Лаплас да они, скраћујући труд, удвостручују живот математичара.⁵² Ако логаритмимо, онда имамо: логаритам непознате ==

$$6.000 \times \log 1,001 = 6.000 \times 0,00043 = 2,6.$$

Антилогаритам од 2,6 износи 400.

Дакле, на дубини од 48 км атмосферски је притисак 400 пута јачи од нормалнога; густина ваздуха је под таквим притиском, као што су показали експерименти, 315 пута већа. Сумњиво је, према томе, да наши подземни путници не би ниуколико патили, него би осећали само »бол у ушима«... У роману Жила Верна се говори, међутим, о још већим подземним дубинама, приступачним људима, — и то од 120 па чак и 325 километара. Ваздушни би притисак морао тамо достићи огроман степен, а човек је способан да поднесе без опасности ваздушни притисак не већи од 3 до 4 атмосфере.

Ако бисмо по тој формуламо израчунали на којој дубини ваздух постаје густ као вода, тј. згушњава се за 770 пута, добили бисмо цифру од 53 км. Али тај резултат

⁵² Ко је понео из школе непријатељско осећање према логаритамским таблицама, тај ће, можда, променити свој непријатељски став према њима када се упозна са начином на који их је окарактериса велики француски астроном. Ево тога места у »Излагању система света«: »Проналазак логаритама, који скраћују израчунавања од неколико месеци на посао од неколико дана, као да удвостручују живот астронома и ослобађа их погрешака и замарања, што нераздвојно прати дугачка рачунања. Тада је проналазак утолико ласкавији за човечји ум што је он потпуно потекао из тога извора (тј. из ума). У технички се човек, ради повећања своје моћи, користи материјалима и силама природе која га окружава; у логаритмима се све јавља као резултат његовог сопственог ума.

није тачан, јер при високим притисцима густина гаса није више пропорционална притиску. Мариотов закон је потпуно тачан само за притиске који нису сувише велики, који не прелазе стотину атмосфера. Ево података о густини ваздуха добијених Натереровим експериментима:

притисак	густина
200 атмосфера	190
400 »	315
600 »	387
1500 »	513
1800 »	540
2100 »	564

Повећање густине, као што видимо, приметно заостаје иза пораста притиска. Узалуд је Жил Вернов научник очекивао да ће стићи до дубине где је ваздух гушћи од воде, — то не би могао дочекати, јер ваздух достиже густину воде тек под притиском од 3.000 атмосфера, а даље се скоро више и не сабија. О томе да се ваздух преведе у тврдо стање самим притиском, без веома јаког расхлађења (испод минус 146°), не може бити ни говора.

Ваља, ипак, приметити да је поменути рачун Жила Верна био објављен много пре него што су постале познате наведене чињенице. То оправдава писца, ма да не исправља причу.

Искористићемо наведену формулу још и за то да израчунамо највећу дубину окна на дну кога би човек могао остати без штете за своје здравље. Највећи ваздушни притисак, који још може да поднесе наш организам, је 3 атмосфере. Означивши тражену дубину окна са x имамо једначину:

$$(1,001)^{\frac{x}{8}} = 3,$$

одакле (логаритмирањем) израчунамо x . Добићемо да је $x = 8,9$ км.

Дакле, човек би се могао без опасности налазити на дубини од 9 м. Кад би Тихи Океан изненада пресушио, људи би могли скоро свуда живити на његовом дну.

У најдубљем окну на свету

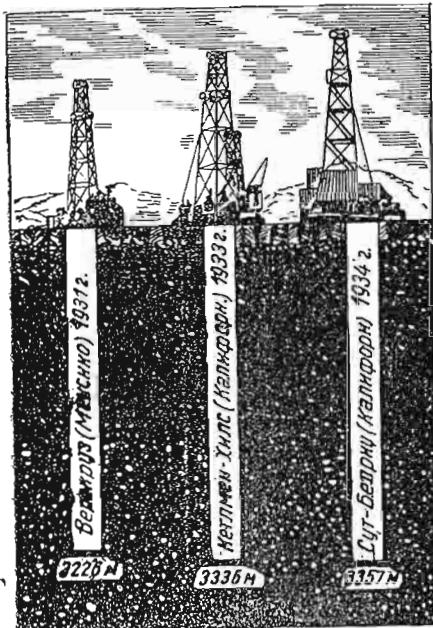
Ко се најближе примакнуо средишту Земље — али не у фантазији романописца него у стварности? Наравно рударски радници. Ми већ знамо (види гл. IV), да су најдубља окна на свету прокопана у областима лежишта злата у Јужној Африци и Бразилији; она предиру у дубину више од 2 километра. Овде се не мисли на дубину на коју продиру бушилице, која у неким случајевима губи 3 $\frac{1}{4}$ до 3 $\frac{1}{3}$ км (св. 86), па чак и више,⁵³ него на дубину до које салазе сами људи. Ево шта прича о бразилском окну француски писац др Лик Диртен, који је рудник лично посетио:

»Чувени рудници злата Моро Вељко налазе се на 400 км од Рио-де-Жанеира. После 16 часова вожње железницом кроз стенични крај, спуштате се у дубоку долину окружену цунглама. Ту једна енглеска компанија вади злато на таквој дубини, па какву се никада пре није спустио човек.

»Златна жила иде косо у дубину. Окно иде за иром преко шест тераса. Вертикална окна — бунари, хоризонтална — тунели. Ванредно је карактеристично за савремену цунглама. Ту једна енглеска компанија вади злато на таквој дубини, па какву се никада пре није спустио човек.

»Златна жила иде косо у дубину. Окно иде за иром преко шест тераса. Вертикална окна — бунари, хоризонтална — тунели. Ванредно је карактеристично за савремену цунглама. Ту једна енглеска компанија вади злато на таквој дубини, па какву се никада пре није спустио човек.

⁵³ Најдубља јама на свету пробушена је у Тексасу и била је дубока 3.835 метара. Бушење је вршено у трагању за нафтотом. Али, како није било резултата, јама је затворена (1935. г.).



Сл. 86. Најдубље на свету сврдлом бушење јаме које се експлоатишу

мено друштво да је најдубље окно које је прокопано у земљиној кори, тај најсмелији потхват да се продре у утробу планете — учињен у потрази за златом.

»Обуците костим од кудељне тканине и кожни капут. Опрезније: и најмањи камичак који падне у јаму може вас ранити. Нас ће спроводити један од јамских »калетана«. Улазите у први тунел — добро осветљен. Обузимље вас језа од леденог ветра од 4°: то је — вентилација за хлађење дубине окна.

»Пошто се спустите у уској металној дизалици на дно прве јаме, дубоке 700 м, нађете се у другом тунелу. Спуштате се у другу јаму. Ваздух постаје топлији. Већ се налазите испод нивоа мора. Почек од следеће јаме ваздух пеће лице. Стигли сте коначно до чувене јаме Бр. 43. Обливени знојем и сагнути под ниским сводом, крећете се у правцу буке машина за бушење. У густој прашини раде обнажени људи. Са њих тече зној, а руке стално додају бочу са водом. Не додирујте одломке руде која је мало пре откинута: њена је температура 57°.

Какав је резултат те ужасне, одвратне стварности? Око 10 килограма злата дневно⁵⁴...«

Описујући физичке услове на дну окна и степен крајње експлоатације радника, француски писац запажа високу температуру, али не помиње повећани ваздушни притисак. Израчунајмо колики је он на дубини од 2.300 м. Кад би температура остала иста као на површини земље, онда би се, према већ познатој нам формулам, густина ваздуха повећала за

$$(1,001)^{\frac{2300}{8}} = 1,33 \text{ пута.}$$

У стварности, температура не остаје једнака него се повећава. Због тога густина ваздуха не расте тако много, него мање. Стога се ваздух на дну окна не разликује много више по густини од ваздуха на површини земље, него што се ваздух жарког летњег дана разликује од леденог зимског ваздуха. Разумљиво је, дакле, зашто та околност није привукла на себе пажњу посетиоца окна.

⁵⁴ Часопис »За рубежом«, 1933, Бр. 13.

Али је за то од великог значаја влажност ваздуха у таквим дубоким рудницима, која чини боравак у њима неиздржљивим при високој температури. У једном од јужноафричких рудника (Јоханесбург), дубоком 2553 метра, влажност при 50° достиже 100%. Ту се сада ствара такозвана »вештачка клима«, при чему је расхлађујуће дејство инсталација једнако дејству 2.000 тона леда.

Пут у висину са стратостатима

У претходним чланцима путовали смо у земљину утробу, при чему нам је помогла формула а основу које се одређује зависност ваздушног притиска од дубине. Одважимо се сада на дизање увис и, користећи се истом формулом, погледајмо како се мења ваздушни притисак на великом висинама. За такав случај формула добија следећи облик:

$$p = 0,999^{\frac{h}{8}},$$

где је p — притисак у атмосферама, h — висина у метрима. Број 0,999 заменио је овде број 1,001 што при пењању за 8 метара притисак не расте за 0,001, него се умањује за 0,001.

Решимо најпре задатак: на коју се висину треба погодити, па да се ваздушни притисак смањи двоструко.

У том циљу уврстићемо у нашу формулу $p = 0,5$ и тражићемо висину h . Добићемо једначину

$$0,5 = 0,999^{\frac{h}{8}},$$

чије решење неће бити тешко за читаоце који знају да раде са логаритмима. Резултат $h = 5,6$ километара одређује висину на којој се ваздушни притисак мора смањити два пута.

Пођимо сада још даље увис, за одважним совјетским ваздухопловцима, који су достигли висине од 19 и 22 километра. Те се високе области атмосфере налазе већ у такозваној »стратосфери«. Због тога се и лопте, на којима се врше таква дизања, називају »стратостати« а не

аеростати. Не мислим да ће се међу читаоцима наћи иједан који није чуо за совјетске стратостате »СССР« и »ОАХ-1«, који су поставили светске рекорде висине: први 19 км, други 22 км.

Покушајмо да израчунамо колики је атмосферски притисак на тим висинама.

Наћи ћемо да на висини од 19 километара ваздушни притисак мора износити

$$0,999^{\frac{19\ 000}{8}} = 0,095 \text{ atm.} = 72 \text{ mm.}$$

А на висини од 22 км

$$0,999^{\frac{22\ 000}{8}} = 0,066 \text{ atm.} = 50 \text{ mm.}$$

Ипак, ако погледамо записи стратонаутичара, наћи ћемо да су на реченим висинама забележени други подаци: на висини од 19 км — 50 мм, на висини од 22 км — 45 мм.

Зашто се рачун није подударио са стварношћу? У чему смо погрешили?

Мариотов се закон може потпуно применити на гасове при тако малом притиску, али смо овога пута учинили други пропуст: рачунали смо да је температура ваздуха једнака на свих 20 километара, док она, међутим, приметно опада са висином. Просечно се узима да температура при пењању на сваки километар опада за $6,5^{\circ}$. То се дешава до висине од 11 километара, где је температура минус 56° , а даље на знатном растојању остаје непромењена. Ако се та околност узме у обзир (а за то више нису доволна средства елементарне математике) — добијају се се резултати који се много више подударају са стварношћу. Из истог разлога треба резултате наших радијних рачунања, који се односе на ваздушни притисак у дубинама, такође сматрати приближним.



ГЛАВА СЕДМА

ТОПЛОТНЕ ПОЈАВЕ

Лепеза

Када се жене хладе лепезама, њима је, наравно, хладније. Рекло би се да то није ни од какве штете за остале присутне особе у просторије и да оне могу бити само захвалне женама за хлађење ваздуха у сали.

Погледајмо да ли је то тако. Зашто при махању лепезом осећамо да је хладије? Ваздух, који лежи непосредно уз наше лице, загрејава се и та га топла ваздушна маска, која невидљиво покрива наше лице, »греје«, тј. успорава даљи губитак топлоте. Ако је ваздух око нас непокретан, онда се загрејани слој ваздуха у близини лица веома полако диже у вис, потискивани тежим не-загрејаним ваздухом. Када лепезом одмахнемо с лица топлу ваздушну маску, лице долази у додир са новим, незагрејаним, ваздухом и непрестано му предаје своју топлоту; наше се тело расхлађује и ми осећамо хладовину.

Дакле, при махању лепезом жене непрестано склањају са свога лица загрејани ваздух и замењују га не-загрејаним. А када се и тај ваздух загреје, уклања се и он и замењује новим незагрејаним ваздухом. Рад лепезе

убрзава мешање ваздуха и доприноси бржем изједначењу температуре ваздуха у целој сали, тј. доноси олакшање онима који имају лепезе, а на рачун хладнијег ваздуха који окружава остале присутне. За дејство лепезе има значаја још једна околност о којој ћемо одмах говорити.

Зашто је на ветру хладније?

Сви знају, наравно, да се на тихом времену мраз подноси много лакше него на ветру. Али сви не разумеју довољно јасно узрок те појаве. Већу хладнсћу на ветру осећају само живи бића; у термометру се живи не спушта кад се термометар налази на ветру. Осећање оштре хладноће на мразном ветровитом времену објашњава се пре свега тиме што се од лица (и уопште од тела) одузима при том знатно више топлоте, него у тихо време, када се ваздух, загрејан телом, не смењује тако брзо новим хладним ваздухом. Што је ветар јачи, то већа маса ваздуха успева да у току сваке минуте дође у додир са кожом и, према томе, утолико више топлоте одузима од нашега тела. Већ је само то довољно да се изазове осећање хладноће.

Али постоји и још један разлог. Наша кожа увек испара влагу, чак и у хладном ваздуху. За испаравање је потребна топлота; њу троши наше тело и она се такође одузима од оног ваздушног слоја који уз тело лежи. Ако је ваздух непокретан, испаравање се врши полако, јер се слој ваздуха који лежи уз кожу брзо засити парама (у ваздуху који је засићен влагом нема испаравања). Али, ако се ваздух креће и ако на кожу долазе све нови и нови делови ваздуха, испаравање је стално веома обилно, а то изискује велики утрошак топлоте, који се одузима од нашега тела.

Колико је расхлађујуће дејство ветра? Оно зависи од брзине ветра и од температуре ваздуха; оно је, уопште, много веће него што се обично мисли. Навешћу пример који даје претставу о томе какво може да буде то снижење температуре. Нека је температура ваздуха $+4^{\circ}$, а

ветра нема никако. Наша кожа при таквим условима има температуру од 31°. Ако дува лаки поветарац који једва покреће заставу и не лелуја лишћем на дрвећу (брзина 2 м у секунди), кожа се расхлађује за 7°; на ветру који лепрша заставом (брзина 6 м у секунди), кожа се расхлади за 22°: њена температура пада до 9°! Ови су подаци узети из књиге Н. Н. Калитина »Основи атмосферске физике у примени на медицину«; читалац кога интересују ова питања наћи ће у њој много занимљивих поједности.

Дакле, о томе како ћемо осећати хладноћу не можемо судити само по температури, него морамо узимати у обзир такође и брзину ветра. Једна иста хладноћа подноси се у Лењинграду просечно теже него у Москви, јер је средња брзина ветра на обалама Балтичког Мора 5—6 метара у секунди, а у Москви само 4,5 метара у секунди. Још се лакше подноси хладноћа у Забајкалју, где је средња брзина ветра свега 1,3 метра. Чувени источно-сибирски мразови не осећају се ни издалека тако жестоко као што мислимо ми који смо у Европи привикли на релативно јаке ветрове; Источни Сибир се одликује скоро потпуним отсуством ветра, нарочито у зимско доба.

Врели дах пустинje

»Дакле, ветар у жарки дан мора доносити расхлађење, — рећи ће можда читалац пошто прочита претходни чланак. — Зашто онда путници говоре о врелом даху пустинje?«

Ова се противречност објашњава тиме што у тропском поднебљу ваздух бива топлији од нашега тела. Није чудо што тамо људима на ветру није хладније, него још вруће. Тамо тело не предаје топлоту ваздушку, него обратно — ваздух загрејава човечје тело. Према томе, што већа маса ваздуха у свакој минути дође у додир са телом, утолико је јаче осећање врућине. Истина, испаравање је и овде појачано на ветру, али загрејавање надјачава. Ето зашто становници пустинje, на пример Туркмени, носе топле огртаче и кожне капе.

Греје ли вео?

Ево још једног задатка из физике свакодневног живота. Жене тврде да вео греје и да без њега лице зебе. При погледу на лако ткање вела, често са прилично великом рупицама, мушкарци нису баш склони да верују том тврђењу и сматрају да је загрејавајуће дејство вела — игра уобразиље.

Ипак, ако се сетите онога што смо рекли, односићете се према томе тврђењу са више поверења. Ма како велике биле рупице вела, ваздух кроз такву тканину пролази, ипак, са извесним успоравањем. Онај слој ваздуха који лежи непосредно уз лице и који, пошто се загреје, служи као топла ваздушна маска, — тај слој, задржаван велом, ветар не односи тако брзо као кад вела нема. Према томе нема основа да се женама не верује да при мањој хладноћи и слабом ветру лице за време шетње зебе под велом мање него без вела.

Бокали који расхлађују

Ако нисте имали прилике да видите такве бокале, вероватно сте слушали или читали о њима. Те посуде од непечене глине имају интересантну особину да вода, насуга у њих, постаје хладнија од околних предмета. Они су већином раширени код јужних народа (између осталих и код нас на Криму) и имају разне називе: у Шпанији — »алкараца«, у Египту — »гоула« итд.

Тајна расхлађујућег дејства тих бокала је проста: течност пробија кроз глинене зидове напоље, где се полагано испарава, одузимајући при том топлоту (»скривену топлоту испарења«) од посуде и течности која се у њој налази.

Али није тачно да се течност у таквим посудама много расхлади — као што се може читати у описима путовања по јужним земљама. Расхлађење не може бити велико. Оно зависи од много услова. Уколико је топлији ваздух, утолико се брже и обилније испарава течност, која влажи посуду споља и, према томе, утолико се више расхлађује вода у бокалу. Расхлађивање зависи и од

влажности околног ваздуха: ако је у њему много влаге, испаравање се врши полако и вода се расхлађује неизнатно; у сухом ваздуху, напротив, долази до енергичног испаравања, које изазива осетније расхлађење. Ветар такође убрзава испаравање и тиме потпомаже расхлађивање: то сви добро знају по оном осећају хладноће које се има у мокрој хаљини на топлом, али ветровитом дану. Снижење температуре у расхлађујућим бокалима није веће од 5°. У жарки дан на југу, када термометар показује неки пут 33°, вода у расхлађујућем ибрику има температуру топле бање, тј. 28°. Расхлађење је, као што видимо, практично некорисно. Али зато бокали добро чувају хладну воду; у том циљу се првенствено и употребљавају.

Можемо покушати да израчунамо степен расхлађења воде у »алкарацама«. Претпоставимо да имамо бокал који може примити 5 л воде; претпоставимо да се $\frac{1}{10}$ л испарила. За испарење 1 л воде (1 кг) потребно је, при температури жаркога дана (33°), око 580 калорија. Код нас се испарила $\frac{1}{10}$ кг и према томе је било потребно 58 калорија. Кад би се сва та топлота одузела само од воде која се налазила у бокалу, њена би температура пала за $58 \frac{1}{5}$ тј. за 12 степени. Али се већи део топлоте, потребне за испаравање, одузима од зидова самог бокала и од околног ваздуха; с друге стране, упоредо са расхлађивањем воде у бокалу долази и до њеног загрејавања топлим ваздухом који лежи уз бокал. Због тога расхлађење једва достиже половину добијене цифре.

Тешко је рећи где се бокал више расхлађује — на сунцу или у сенци. На сунцу се убрзава испаравање, али се уједно појачава и прилив топлоте. Најбоље је, вероватно, држати расхлађујући бокал у сенци, на слабом ветру.

Ледњаче без леда

На расхлађивању путем испаравања заснива се уређај хладњача за чување намирница, које претстављају нарочиту врсту ледњача — без леда. Устројство тих хладњача је веома једноставно: то је сандук од дрвета (још је

боље од поцинкованог железа) са полицама на које се стављају намирнице. Уврх сандука се ставља дугачка посуда са чистом хладном водом; у посуду је загњурен крај грубог ланеног платна, које иде дуж задњег зида сандука доле, завршавајући се у посуди смештеној под доњом полицом. Платно упија воду, која се, као по фитиљу, стално креће кроза њу, испаравајући се полако и расхлађујући тако сва одељења »ледњаче«.

Овакву »ледњачу« треба ставити у хладовито место у стану и сваке вечери мењати у њој хладну воду, како би на успела да се преко ње добро расхлади. Посуда, која садржи воду, и платно, које се водом натапа, морају бити, наравно, потпуно чисти.

Коју топлоту можемо да поднесемо?

Човек је много издржљивији у погледу топлоте, него што се обично мисли: он је способан да поднесе у јужним земљама температуру приметно вишу од оне коју ми у умереном појасу сматрамо за једва подношљиву. Лети се у Средњој Аустралији често запажа температура од 46° у сенци; тамо је чак забележена температура од 55° у сенци (по Целзију). При пролазу кроз Црвено Море у Перзиски Залив температура у бродским просторијама достиже 50° и више, без обзира на непрестану вентилацију.

Највише температуре које су запажене у природи на земљиној кугли нису прелазиле 57°. Та је температура установљена у такозваној »Долини Смрти« у Калифорнији. Жега Средње Азије — најтоплијег краја нашег Савеза — не прелази 50°.

Овде забележене температуре мерење су у сенци. Објаснимо узгред зашто метеоролог интересује температура баш у сенци, а не на сунцу. Ствар је у томе што температуру ваздуха мери само термометар који је постављен у сенку. Термометар, који је стављен на сунце, може се загрејати његовим зрацима знатно више него околни ваздух и његово показување ишуколико не карактерише топлотно стање ваздушнине средине. Због тога и нема смисла, када је реч о врућем времену, говорити о температури коју показује термометар на сунцу.

Вршени су експерименти ради одређивања највише температуре коју може издржати човечји организам. Испоставило се да је, при постепеном загрејавању, наш организам способан да у сухом ваздуху издржи не само температуру кључаша воде (100°), него понекад чак још и вишу, до 160° Ц, као што су доказали енглески физичари Благден и Чентри, који су, ради експеримента, проводили целе часове у загрејаној пећи пекаре. »Могу се скучати јаја и испржити бифтек у ваздуху просторије у којој људи остају без озледе«, — примећује у вези с тим Тиндал.

Чиме се објашњава таква издржљивост. Тиме, што наш организам стварно не добија ту температуру, него одржава температуру близку нормалној. Он се бори са загрејавањем путем обилног знојења; испаравање зноја гута велике количине топлоте из оног слоја ваздуха који непосредно лежи уз кожу и тиме у приличној мери снижава његову температуру. Једини неопходни услови су: да тело не додирује непосредно извор топлоте и да је ваздух сув.

Ко је био у нашој Средњој Азији, тај је приметио, без сумње, како се тамо релативно лако подноси топлота од 37 и више степени Целзија. У Лењинграду се топлота од 24 степена подноси знатно теже. Узрок је, наравно, у томе, што је у Лењинграду ваздух влажан, а у Средњој Азији сув, тамо је киша ванредно ретка појава.⁵⁵

Термометар или барометар?

Позната је анегдота о оном наивном човеку који није смео да се купа из следећег необичног разлога:

— Ставио сам барометар у каду и он је показао — буру... Опасно за купање!

Али, не мислите да је увек лако разликовати термометар од барометра. Има таквих термометара, — или тачније термоскопа, који би се са истим правом могли назвати и барометрима, као и обрнуто. Као пример може да послужи стари термоскоп, који је измислио Херон

⁵⁵ Интересантно је да је тамо мој цепни хигрометар показао два пута у месецу јуну нулу влажности (13 и 16 јуна 1930. г.).

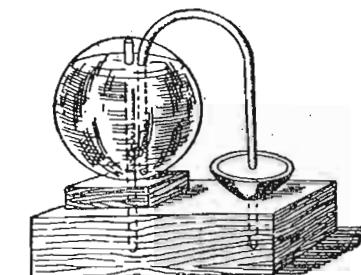
Александриски (сл. 87). Када сунчани зраци загревају куглу, ваздух се у горњем делу кугле шири, врши притисак на воду и истискује је кроз савијену цев напоље; вода почиње да капље из цеви у левак, одакле отиче у доњи сандучић. А у хладно се време, напротив, смањује еластичност ваздуха у кугли и спољни ваздух потискује воду из доњег сандука у куглу, кроз усправну цев.

Међутим, тај је апарат осетљив и за примање барометарског притиска: када спољни притисак слаби, у кугли се ваздух, који задржава ранији виши притисак, шири и кроз цев истискује један део воде у левак, а при повећању спољног притиска пење се један део воде из сандука у куглу. Сваки степен разлике у температури изазива промену запремине ваздуха у кугли, која износи $\frac{760}{273} = 2\frac{1}{2}$ мм разлике у висини барометарског стуба (живиног). У Москви достижу барометарске промене 20 и више милиметара, чему одговара 8° Ц у Хероновом термоскопу. Дакле, такав се пад атмосферског притиска лако може узети за повећање температуре за 8 степени!

Видите да се стари термоскоп у немањији мери појављује и као бароскоп. Једно су се време код нас налазили у продaji водени барометри, који су истовремено деловали и као термометри, а на ту околност, међутим, нису помишљали не само купци, него, изгледа, ни њихов проналазач.

Каква је улога цилиндра за лампе?

Мало ко зна како је дугачак пут прошао цилиндар за лампе пре него што је добио свој садашњи облик. Хиљадама година служили су се људи пламеном у циљу осветљавања, а да нису прибегавали услугама цилиндра.



Сл. 87. Херонов термоскоп

Био је потребан гениј Леонарда да-Винчија (1452—1519), да би се учинило то важно усавршавање лампе. Али Леонардо није окружио пламен стакленом, него металном цеви. Прошла су још три века пре него што су се људи досетили да металну цев замене провидним стакленим цилиндром. Као што видите, цилиндар за лампе је проналазак над којим су радиле десетине поколења.

Каква је његова сврха?

Мало их је који већ имају правилан одговор на такво природно питање. Запитити пламен од ветра — то је само другостепена улога цилиндра. Његово је главно дејство: посвећавање јачине пламена, убрзање процеса горења. Цилиндар има исту улогу коју и димњак. Он појачава приступ ваздуха пламену, појачава »вучење«.

Размотримо то. Ваздушни стуб, који се налази у цилиндру, загрејава се од пламена знатно брже, него ваздух који окружава лампу. Пошто се загреје и услед тога постане лакши, ваздух се диже увис, потискивани тежим незагрејаним ваздухом који продире одоздо кроз отворе на пламенику. На тај начин долази до сталне ваздушне струје одоздо према горе, која непрекидно односи производе горења и доноси свеж ваздух. Што је цилиндар виши, то је већа разлика у тежини између загрејаног и незагрејаног ваздушног стуба и утолико је снажнији прилив свежег ваздуха, услед чега се убрзава горење. Ту се дешава исто што и у високим фабричким димњацима. Због тога се ти димњаци и праве тако високи. Интересантно је да је већ Леонардо имао јасну претставу о тим појавама: »Где се појављује пламен, ту се око њега ствара ваздушна струја: она га потпомаже и појачава.«

Зашто се пламен не гаси сам од себе?

Ако се добро задубимо у процес горења и нехотице постављамо питање: зашто се пламен не гаси сам од себе? Као производи горења појављују се угљиков оксид и водена пара, — материје које не горе, које су неспособне да потпомажу горење. Према томе од првог тренутка горења пламен би морао бити окружен материјама

које не сагоревају, а које сметају приступ ваздуха; без ваздуха не може горење да траје и пламен би се морао угасити.

Зашто се то не догађа? Зашто горење траје непрекидно, све дотле док траје материја која сагорева? Само због тога што се гасови од затрејавања шире и према томе постају лакши. Захваљујући томе, загрејани производи горења не остају на месту свога стварања, у не-посредном суседству са пламеном, него их одмах потискује увис чисти ваздух. Кад Архимедов закон не би важио за гасове (или кад не би било силе теже), сваки би се пламен, пошто би мало горео, угасио сам од себе.

Веома је лако уверити се у то како погибљено делују на пламен производи горења. Ви се често тиме користите, а да на то и не помишљате, када гасите пламен лампе. Како гасите петролејску лампу? Дувате у њу одозго, тј. терате доле, према пламену, несагорљиве производе горења и пламен се гаси, лишен слободног приступа ваздуха.

Глава која недостаје у роману Жила Верна

Жил Верн нам је детаљно испричао како су проводила време три одважна човека у ћулету које је јурило на Месец. Међутим, он није испричао како је Мишел Ардан вршио дужност кухара у тим необичним околностима. Версватно је романописац претпостављао да кување у ћулету које лети не претставља ништа нарочито што би требало да се описује. Ако је тако, онда се он преварио. Ствар је у томе што у летећем ћулету сви предмети постају без тежине.⁵⁶ Жил Верн је изгубио из вида ту околност. А и ви ћете се сагласити да је кување у кухињи без тежине предмет потпуно достојан пера романописца и може се само жалити што талентовани писац »Пута на Месец« није посветио лажњу тој теми. Покушаћу, како будем умео, да допуним ту главу

⁵⁶ Детаљније се објашњење ове интересантне околности налази у првој књизи »Занимљиве физике«, а такође и у мојим књигама »Међупланетска путовања«, »На ракети пут звезда« и »Ракетом на Месец«.

која недостаје у роману, да бих читаоцу дао претставу о томе како је она ефектно могла изаћи из тела самога Жила Верна.

При читању тога чланка читалац не сме губити из вида да у ђулету — као што је већ речено — не постоји тежа: у њему су сви предмети без тежине.

Доручак у кухињи без тежине

— Пријатељи моји, ми још нисмо доручковали, објави Мишел Ардан својим сапутницима на међупланетском путовању. — Из тога што смо изгубили тежину у топовском метку, не произлази да смо изгубили и алетит. Прихватићу се да вам направим доручак без тежине, који ће се, без сумње, састојати од најлакших јела која су икад на свету направљена.

И не чекајући одговор својих другова, Француз се прихвати да спреми доручак.

— Наша боца с водом изгледа као празна, — гунђао је за себе Ардан, трудећи се да отвори овећу боцу. Нећеш ме преварити: знам ја зашто си ти лака... Тако, чеп је извађен. Изволи, изли у шерпу своју садржину без тежине!

Али, ма колико да је нагињао боцу, вода се није излевала.

— Не мучи се, драги Ардане, — дође му у помоћ Никол. — Разумеј да у нашем ђулету, у коме нема тежине, вода не може тећи. Ти је мораš истrestи из боце, као да је то какав густи сируп.

Не размишљајући много Ардан удари дланом по дну изврнуте боце. Ново изненађење: на грлићу се појави водена кугла у величини песнице.

— Шта се десило с нашом водом? — зачуди се Ардан. — Ово је, признајем, сасвим сувишно изненађење! Објасните ми, моји учени пријатељи, шта се ту десило?

— То је капља, драги Ардане, обична водена капља. У свету без тежине капљице могу бити колико хоћеш велике... Сети се да течности само под утицајем теже добијају облик посуда, теку у виду млаза итд. Овде нема

теже, течност је препуштена својим унутарњим молекуларним силама и она мора да добије облик кугле, као уље у чувеном Платоовом експерименту.

— Шта се мене тиче тај Плато и његови експерименти! Ја морам прокухати воду за супу и, кунем се, никакве ме молекуларне силе неће зауставити! — објави Француз ватreno.

Он поче бесно да истреса воду над шерпом која је лебдела у ваздуху, — али се, очевидно, све било заверило против њега. Велике ведене кугле, које су упадале у шерпу, ширile су се брзо по њеној површини. Али ствар с тим није била завршена: са унутарњих зидова вода је прелазила на спољне, разилазила се по њима, — и ускоро се шерпа нашла савијена дебелим слојем воде. Кувати воду у таквом облику није било могуће.

— Ево интересантног експеримента, који доказује како је велика снага адхезије — мирно је говорио побеснелом Ардану сталожени Никол. — Не узбуђуј се: то је обична појава кваšeња чврстих тела течностима; само што у овом случају тека не смета тој појави да се развије у пуној мери.

— Врло ми је жао што не смета! — одврати Ардан. — Било ту кваšeње или што друго, али мени треба вода у шерпи, а не око ње. Какве су то новости! Ниједан кувар на свету не би пристао да спрема супу под таквим условима.

— Лако можеш спречити појаву кваšeња, ако ти она смета, — рече М-р Барбикен мирно. — Сети се да вода не кваси тела покривена макар и танким слојем масти. Намажи своју шерпу машћу споља и задржаћеш у њој воду.

— Браво! Ето, то ја називам правом ученошћу, — обрадова се Ардан, поступајући по савету. Затим поче да загрејава воду на пламену гасне лампе.

Очевидно, све је било против Ардана. И гасна се лампа заминалла: пошто је горела пола минута пригушеним пламеном, она се угасила из необјашњивог разлога.

Ардан је баратао око лампе, стрљиво се мучио са пламеном, али је сва мука остајала без успеха: пламен није хтео да гори.

— Барбикен! Никол! Зар нема начина да се овај тврдоглави пламен натера да гори као што би требало по законима ваше физике и по прописима компанија за продају гаса? — дозивао је пријатељ обесхрабрени Француз.

— Нема ту ничег необичног и ничег неочекиваног, — објасни Никол. — Тад пламен гори баш тако као што треба да буде према физичким законима. А што се тиче друштва за продају гаса... ја мислим она би сва пропала кад не би било теже. При горењу се, као што знаш, ствара угљични скисид и водена пара, — једном речи, гасови који не горе; ти производи горења обично не остају окс самог пламена: њих, с обзиром да су топли и према томе лакши, потискује свежи ваздух који придолази са стране. Али овде, кад нас, нема теже, — због тога производи горења остају па месту њиховог развијања, окружују пламен слојем несагоривих гасова и онемогућују прилаз свежем ваздуху. Због тога овде пламен тако слабо гори и брзо се гаси. На томе се и заснива дејство средстава за гашење ватре, што се пламен окружава несагоривим гасом.

— Значи, према томе, — прекиде га Француз, — кад на Земљи не би било теже, не би биле потребне ни пожарне станице: ватра би се угасила сама од себе, угушила би се у властитом дисању?

— Потпуно тачно. А сада, да бисмо се помогли, запали још једном лампу и дувај у пламен. Надам се да ћемо успети да направимо вештачку промају и да натерамо пламен да гори »земаљски«.

То су и учинили. Ардан је поново запалио лампу и прихватио се кувања, посматрајући злурадо како Никол и Барбикен на смену дувају и распирају пламен како би непрестано доводили до њега свеж ваздух. Француз је у дубини душе сматрао своје пријатеље и њихову пауку кривцима »за сву ту збрку«.

— Ви у неку руку вршите дужност фабричког димњака, потпомажући вучење, — брњао је Ардан. — Ја вас много жалим, моји учени пријатељи, али, ако желимо да имамо топл доручак, ваља се потчинити наређењима ваше физике.

Међутим, прошло је четврт сата, пола сата, сат, — а вода у шерпи није ни помислила да проври.

— Мораš бити стрпљив, драги Ардане. Видиш, обична вода, која има тежину, загрева се брзо. А зашто? Само зато што се у њој врши мешање слојева: доње загрејане слојеве, као лакше, потискују хладни слојеви одозго и резултат је да сва течност брзо добија високу температуру. Јеси ли некад имао прилике да воду загреваш одозго а не одоздо? Тада нема мешања слојева, јер горњи загрејани слојеви остају на своме месту. А вода је веома слаб спроводник топлоте: горњи слојеви могу чак да кључају, док се у доњим налазе истовремено комади нерастопљеног леда. Али је у нашем свету без тежине свеједно с које ће се стране вода загревати: у шерпи неће бити струјања воде и вода се мора загрејавати врло по-лако. Ако желиш да убрзаш загревање, воду мораш стално мешати.

Никол је упозорио Ардана да воду не загрева до 100°, него да се задовољи са нешто нижом температуром. При 100° се ствара много паре, која овде има једнаку специфичну тежину као и вода (обе су равне нули) и која би се мешала с њом у једнородну пену.

Непријатно се изненађење десило са грашком. Када је Ардан развезао кесицу и њоме лако трехнуо, зрна грашка су се расејала по ваздуху и почела да лутају по кабини, ударајући о зидове и одбијајући се од њих. Та лебдећа зрна од грашка замало што нису направила и већу невољу: Никол је случајно удахнуо једно од њих и спопао га је такав кашаљ да се замало није угушио. Да би се ослободити од те опасности и очистили ваздух, наши су пријатељи почели да лове грашак мрежом коју је обазриви Ардан понео са собом »ради састављања збирке лептирова са Месецом«.

Није било лако кувати под таквим условима. Ардан је имао право кад је тврдио да ту не би издржкао ни највећтији кувар. Није било лако ни са пржењем бифтека: ваљало је стално придржавати месо виљушком, иначе су га еластична испарења масти, која су се образовала испод бифтека, одбацивала из шерпе и неиспржено месо летело је »увис«, — ако се та реч може употребити тамо где није постојало ни »горе«, ни »доле«.

Чудну је слику претстављао и сам обед у том свету без тежине. Пријатељи су лебдели у ваздуху у најразноврснијим позама, које, уосталом, нису биле лишене животописности, и сваког су се часа сударали главама један с другим. Седети, наравно, није било потребно. Такве ствари, као што су стслице, дивани, клупе, — потпуно су некорисне у свету у коме нема тежине. У суштини би и сто био ту потпуно непотребан, да није било упорне Арданове жеље да се доручкује неизоставно »за столом«.

Тешко је било скувати супу, али се показало још теже појести је. Почекло је с тим што им никако није полазило за руком да супу без тежине разлију у шоље. За мало Ардан није платио такав покушај губитком свога труда од целога јутра. Заборављајући да је супа без тежине он је гневно ударио по дну преврнуте шерпе, да би из ње истерао тврдоглаву супу. А последица је била да је из шерпе излетела огромна кугласта капља — супа у сферидном облику. Ардан је морао показати вештину жонглера да би поново ухватио и задржао у шерпи супу кувану на тако мучан начин.

Покушај да се послуже кашикама остао је без успеха: супа је квасила целу кашику све до прстију и омотавала је као покривач.

Намазали су кашике машћу, да би спречили кваšeње, али ствар тиме није постала ништа боља: супа се на кашици претварала у куглу и није било никакве могућности да се та пилула без тежине унесе у уста.

Најзад је Никол нашао излаз: направили су цеви од воштане хартије и помоћу њих су пили супу, увлачећи је у уста. На тај начин морали су наши пријатељи у току целог путовања да пију воду, вино и уопште све течности.⁵⁷

⁵⁷ Многи читаоци ранијих издања ове књиге обраћали су ми се писмима у којима су изражавали своју сумњу у погледу тога како је могућно пити у средини у којој нема теже — чак и на горе показани начин: ваздух је у ћулету које лети — без тежине, те према томе он не врши притисак, а при отсуству притиска не може се пити усисавањем течности у себе. Тад су приговор изразили и у штампи неки редензенти. Међутим, потпуно је јасно да отсуство тежине ваздуха при датим условима не повлачи за собом инуколије и отсуство ваздушног притиска: ваздух у затвореном простору уоп-

Зашто вода гаси ватру?

На тако једноставно питање не знају сви да правилно одговоре и читалац нам, надамо се, неће замерити ако укратко објаснимо у чему се састоји то дејство воде на ватру.

Прво, прилежући уз предмет који гори, вода се претвара у пару, одузимајући при томе много топлоте од запаљеног тела; да би се претворила врела вода у пару потребно је преко пет пута више топлоте, него што је потребно за загрејавање исте количине хладне воде до 100 степени.

Друго, паре, које се при томе образују, заузимају стотинама пута већи волумен него вода од које су настале; опкољавајући тело које гори, паре потискују ваздух, а без ваздуха је горење немогуће.

Да би се повећала ватрогасна сила воде, понекад се у њу меша ... барут! То може изгледати чудно, али је ипак сасвим паметно: барут брзо сагорева, развијајући велике количине несагоривих гасова, који окружавају запаљене предмете и отежавају горење.

Како се гаси ватра помоћу ватре?

Вероватно сте чули да је најбоље, а понеки пут једино средство борбе са пожаром у шуми или степи то да се шума или степа запали са супротне стране. Нови пламен иде у сусрет побеснелом пламеном мору и, уништавајући запаљиви материјал, лишава ватру оног чиме се она одржава; када се оба пламена зида сусретну, они се у једном трену гасе, као да су пождерали један другог.

ште не врши притисак због тога што он има тежине, него због тога што настоји, као гасовито тело, да се безграницно расиростре. У затвореном простору на земљиној површини тежа игра улогу зидова који чине препреку томе распростирању. Та зависност, на коју смо се навикли, довела је у заблуду моје критичаре. У затвореном простору гас не врши никаквог притиска једини на температуре апсолутне нуле (око минус 273°). Та температура, наравно, није била у унутрашњости вагона-ћулета.

Многи су, вероватно, читали у Куперовом роману »Прерија« опис начина на који се гаси ватра при пожарима у америчким степама. Може ли се заборавити онај



Сл. 88. Гашење ватром пожара у степи

драматични моменат када је стари Трапер спасао од смрти у пламену путнике које је у степи затекао пожар? Ево тога места из »Прерије«:

»Старац је изненада добио одлучан изглед.

— Дошло је време да се ради, — рекао је он.

— Прекасно сте се сетили, несрећни старче! — повика Мидлтон. — Ватра је четврт миље далеко од нас и ветар је носи према нама ужасном брзином!

— Гле! Ватра! Не бојим се ја ње. Само, јунаци, сложно! Баците се на ову суху траву и почупајте је.

У врло кратком времену било је очишћено место са двадесет стопа у пречнику. Трапер је одвео жене на један крај тога малог простора и рекао им да покрију ћебетима своје хаљине које се могу лако запалити. Пошто је предузeo те мере предостroдности, старац је пришао супротном крају, где је стихија окружавала путнике високим, опасним прстеном и, узвеши шаку најсухље траве, за-

пали је пушчаним хицем. Суха лако запаљива трава за час је планула. Тада је старац баци у високи коров и, одлазећи према центру круга, стаде да очекује стрпљиво-резултат свога дела.

Разорна се стихија, као гладна, бацила на нову храну и за тренутак је пламен већ тутао траву.

— Е, рече старац, — сад ћете видети како ће ватра победити ватру.

— А зар то није опасно? — ускликину зачуђени Мидлтон. Зар тиме не приближавате непријатеља к нама, уместо да га удаљавате од нас?

Ватра, стално растући, поче да се шири на три стране, слабећи на четвртој због недостатка материјала за горење. И како је ватра расла и беснела све јаче и јаче, она је чистила испред себе сав простор, остављајући црно задимљено земљиште много боље очишћено него да је на томе месту трава била покошена косом. Положај бегунаца био би још опаснији да се место које су они очистили није повећавало утолико уколико га је пламен окружавао са осталих страна. После неколико минута је пламен почео да се повлачи у свима правцима, остављајући људе обавијене облаком дима, али ван сваке опасности од ватрене бујице, која је продужила да јури бесно напред.

Посматрачи су гледали једноставно средство које је употребио Трапер са оним истим запрепаштењем, са којим су, како се прича, Фердинандови дворани гледали начин на који је Колумбо поставио јаје.«

Тај начин гашења степских и шумских пожара није, ипак, тако прост као што се чини на први поглед. Послужити се ватром за гашење пожара може само врло искусан човек, — иначе се невоља може чак и повећати.

Разумећете каква је за то потребна пракса, ако себи поставите питање: зашто је ватра, коју је запалио Трапер, пошла у сусрет пожару, а не у обрнутом правцу? Зна се да је ветар дувао од стране пожара и терао ватру на путнике. На основу тога би се рекло да се ватра коју је изазвао Трапер није могла кретати у сусрет пламеном мору, него назад, у степу. Кад би се десило тако, путници би били опкољени ватреним прстеном и неминовно би изгинули.

У чему лежи Траперова тајна?

У знању једног простог физичког закона. Ма да је ветар дувао од запаљене степе према путницима, — ипак је испред ватре, а у њеној близини, морала да постоји супротна струја ваздуха, у сусрет пламену. Уствари: загрејавајући се изнад ватреног мора, ваздух постаје лакши и њега потискује увис свежи ваздух, који струји са свих страна из степе још незахваћене пламеном. Због тога се у близини границе пожара ствара струјање ваздуха у сусрет пламену. Према томе, потребно је запалити ватру, која ће се кретати у сусрет пожару, тек када се пожар довољно приближи да би се осетило то струјање ваздуха. Ето зашто се Трапер није журио да се прихвати посла пре времена, него је спокојно чекао потребни тренутак. Да је запалио траву мало раније, пре него што је поменуто струјање ваздуха настало, — ватра би се проширила у обрнутом правцу и учинила би положај људи безизлазним. Али је и отезање могло бити исто тако кобно: пожар би се примакао и сувише близу.

Може ли вода проврети од кључале воде?

Узмите омању боцу (теглицу или бочицу), налите у њу воду и сместите је у шерпу с чистом водом која се налази на ватри и то тако да бочица не додирује дно шерпе; мораћете, наравно, ту бочицу обесити на петљу од жице. Када вода у шерпи проври, изгледа да би одмах затим морала проврети и вода у бочици. Можете, међутим, чекати колико хоћете, — то нећете дочекати: у бочици ће вода бити врућа, врло врућа, али кључати неће. Показаће се да врела вода није довољно врућа да би у њој вода прокључала.

Међутим, ма како да је тај резултат неочекиван, требало га је предвидети. Да би се вода довела до врења није довољно само да се сна загреје до 100° Ц: потребно јој је дати још и знатну залиху такозване »сакривене топлоте«. Чиста вода кључка на 100° Ц; њена се температура, при обичним условима, не диже изнад те тачке, ма колико је ми загрејавали. Значи, извор топлоте помоћу

кога ми загревамо воду у бочици има температуру од 100° ; он може довести воду у бочици такође само до 100° . Када наступи то изједначење температура, неће бити даљег прелажења топлоте од воде у шерпу на воду у бочици. Загревајући, dakле, воду у бочици тим начином, ми јој не можемо дати вишај »сакривене« топлоте који је неопходно потребан да би вода прелазила у пару (за сваки грам воде загрејан до 100° потребно је још преко 500 калорија да би прешао у пару). Ето зашто вода у бочици не кључа, иако се загрева.

Може се поставити питање: чиме се разликује вода у бочици од воде у шерпи? Зар у бочици није чиста вода, само што је одвојена од остале водене масе стакленом преградом; зашто се с њом не дешава исто што и са осталом водом?

Зато што преграда спречава воду из бочице да учествује у оним струјањима која мешају воду у шерпи. Свака честица воде у шерпи може непосредно додирнути залканено дно, а вода из бочице је у посредној вези само са врелом водом у шерпи.

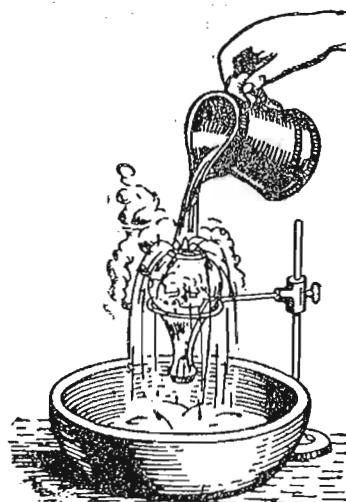
Дакле, у чистој кључалој води не може проврети вода. Међутим, довољно је у воду усuti щаку соли, — и ствар се мења. Сланна вода не кључка на стотину степени, него на мало више, и према томе може довести до кључаша чисту воду у стакленој бочици.

Може ли вода проврети од снега?

»Ако чак врела вода није довољна за ту сврху, шта ту има да се говори о снегу!«, одговориће писаки читалац. Не журите се с одговором, него боље извршите експеримент с том истом стакленом бочицом коју сте малочас употребљавали.

Налијте у њу до половине воду и загњурите је у кључалу слану воду. Када вода у бочици проври, извадите је из шерпе и зачепите брзо чврстим чепом који сте већ раније припремили. Тада преврните бочицу и сачекајте да вода у њој престане да кључка. Пошто сачекате тај тренутак, залијте бочицу врелом водом, — вода у њој

неће поново проврети. Али, ставите на њено дно мало снега или је чак просто залите хладном водом, као што је показано на сл. 89, — и ви ћете видети да ће вода прврети... Снег је учинио оно што није могла да учини врела вода!



Сл. 89. Вода кључа у бочици заливеној хладној водом



Сл. 90. Неочекивани резултат хлађења лимене кантине

То је утолико више загонетно што бочица, када је опипате, неће бити нарочито врућа, него само топла. Међутим, ви ћете сопственим очима видети како у њој вода кључка.

Решење загонетке је у томе што је снег охладио зидове бочице; услед тога се пару у бочици згуснула у водене калњице. А како је ваздух из стаклене бочице био истиснут још док је вода кључала, то је сада вода у њој подвргнута знатно мањем притиску. А познато је да течност под смањеним притиском кључа на нижој температури. Ми, према томе, имамо у нашој бочици кључу чак у воду, али не и врелу.

Ако су зидови бочице веома танки, нагло згуšњавање паре у њој може изазвати нешто слично експлозији; при-

тисак спољњег ваздуха, не наилазећи на доволно противдејство из бочице, може бочицу згњечити (видите, између остalog, да је реч »експлозија« ове неумесна). Због тога је најбоље узети округлу бочицу (балон са испуњеним дном), да би ваздух вршио притисак на свод.

Са најмање опасности се тај експеримент изводи са лименом кантином за петролеј, масти и т. сл. Пошто у њој провре мало воде, завите чврсто затварач и посуду залите хладном водом. Лимена кутија ће се одмах спљешти под притиском спољњег ваздуха, јер ће се пара у њој при хлађењу претворити у воду. Кутија ће бити изгњечена ваздушним притиском као да је по њој ударано тешким чекићем (сл. 90).

»Супа од барометра«

У својој књизи »Путовања по иностранству« амерички хуморист Марк Твейн прича о једном случају са свога путовања по Алпима — случају, разуме се, измишљеном:

»Нашим је непријатостима дошао крај; људи су се могли одморити, а и ја сам, најзад, имао могућности да обратим пажњу на научну страну експедиције. Пре свега сам желео да помоћу барометру одредим висину места на коме смо се налазили, али, напак, нисам дошао ни до каквих резултата. Из своје лектире знао сам да је ваљало кувати барометар или термометар да би се добили ти подаци. А шта баш од то двоје — нисам тачно знао и због тога сам се решио да прокувам обое. Па ипак, нисам имао никаквих резултата. Пониште сам погледао оба инструмента, видео сам да су се они само покварили: на барометру је била само бакарна игла, а у куглици од термометра клатила се лоптица живе...«

Узео сам други барометар. Тада је био потпуно нов и веома добар. Пона сата сам га кухао у лонцу са чорбом од боба коју је спремао кувар. Резултат је био неочекиван: инструменат је потпуно престао да ради, али је супа добила тако јак укус барометра, да је главни кувар — човек врло паметан — променио њен назив у јеловнику. Ново јело је наишло на опште одобравање, тако да сам

наредио да се свакога дана прави супа од барометра. Наравно, барометар је био потпуно покварен, али га ја нисам много жалио. Кај ми већ није помогао да одредим висину места, није ми био више ни потребан.«



Сл. 91. »Научна истраживања«
Марка Твена

де под разним притисцима

Температура кључача

101°	787,7 mm
100°	760 "
98°	707 "
96°	657,5 "
94°	611 "
92°	567 "
90°	525,5 "
88°	487 "
86°	450 "

У Верну (Швајцарска), где је просечни атмосферски притисак 317 mm, вода у отвореној посуди ври већ на $97\frac{1}{2}$ степени, а на врху Монблана, где барометар показује 424 mm, врела вода има температуру од свега $84\frac{1}{2}$ степена. Са пењањем на сваки километар температура кључача воде пада за 3° Ц. Дакле, ако измеримо температуру на којој вода кључа (према речима Марка Твена — »ако прокувамо термометар«), помоћу одговарајућим табличама можемо сазнати висину места.

Оставимо шалу на страну и постарајмо се да одговоримо шта је уствари требало »прокувати«: термометар или барометар?

Термометар, и ево зашто. Из претходног експеримента видели смо да је температура кључача утолико ниже, уколико је мањи притисак на воду. Како се са пењањем у планине смањује атмосферски притисак, заједно с тим мора да опада и температура кључача воде. И заиста, констатоване су следеће температуре кључача чисте воде у атмосфери:

Барометарски притисак

р а ј у ћ е т а б л и ц е можемо сазнати висину места. Зато је потребно, наравно, имати унапред припремљену таблицу, на што је Марк Твен »просто« заборавио.

Апарати који се у том циљу употребљавују — такозвани гипсотермометри — нису ништа мање подесни за пренос, а дају знатно тачније податке. Апарат те врсте, који се недавно појавио у Немачкој, намењен за мерење атмосферског притиска у рудничким окнима, даје податке двадесет пута тачније него метални барометар.

Разуме се, и барометар може служити за одређивање висине места, јер он директно, без икаквог »прокувавања«, показује атмосферски притисак: што се више пењемо, све је мањи притисак. Али је и ту потребна или таблица која показује колико се смањује атмосферски притисак са повећањем надморске висине, или знање одговарајуће формуле. То све као да се помешало у глави хумористе и навело га да »кува супу од барометра«.

Да ли је кључала вода увек врела?

Стасити ордонанс Бен-Зуф, — са којим се читалац без сумње упознао у Жил Верновом роману »Хектор Сервадак«, — био је тврдо уверен да је кључала вода увек и свугде једнако врела. Он би вероватно мислио тако цељог живота, да га није случај, заједно са командантом Сервадаком, бацио на ... комету. То се ћудљиво небеско тело сударило са Земљом и откинуло је тада од наше планете баш онај део на коме су се налазила оба јунака романа и однело их даље по своме елиптичном путу. И тада се ордонанс први пут уверио у властитом искуству да кључала вода није свугде једнако врућа. То је откриће учинио изненада, спремајући доручак.

»Бен-Зуф је насую воду у шерпу и метнуо је на штедњак очекујући да вода проври, да би у њу ставио јаја која су му изгледала као празна, тако су била лака.

За мање од две минуте вода је прокључала.

— Ђаво га однео! Како ватра сад добро гори! — узвикну Бен-Зуф.

— Не гори ватра јаче, — одговори Сервадак промисливши, — него вода брже кључа.

И, скинувши са зида Целзијев термометар, он га за-
тњури у кључалу воду.

Термометар је показао свега шездесет и шест степени.

— Ох! — узвикну официр. — Вода кључа на шездесет и шест степени уместо на стотину!

— Како то капетане?

— Тако, Бен-Зуфе. Саветујем ти да јаја држиши у врелој води четврт сата.

— Али, она ће бити тврда!

— Не, пријатељу, она ће бити једва скувана.

Узрок те појаве је било, очевидно, смањење висине атмосферског омотача. Ваздушни се стуб изнад површине земљишта смањио приближно за једну трећину и зато је вода под малим притиском кључала на шездесет и шест степени уместо на стотини. Слична би се појава запазила и на планини, која би била висока 11.000 м. И да је капетан имао барометар, видео би на њему то смањење ваздушног притиска.«

Нећемо сумњати у запажања наших јунака: они тврде да је вода кључала на 66° и ми ћемо то узети као чињеницу. Али, веома је сумњиво да би се они могли добро осећати у тој разређеној атмосфери у којој су се налазили.

Писац »Сервадака« потпуно правилно примећује да би се слична појава запазила и на висини од 11.000 м: тамо би вода, као што се види из рачуна,⁵⁸ стварно морала да кључа на 66°. Али би при том и атмосферски притисак морао износити 190 mm живиног стуба, — равно четири пута мање од нормалног. У ваздуху који је разређен до те мере скоро није могуће дисати! Ту је већ реч о висинама које се налазе у стратосфери! Ми знамо да су авијатичари који су се без маске пели на таке висине губили свест због помањкања ваздуха, док су се Сервадак и његов посилни осећали сношљиво. Добро је што Сервадак није имао при руци барометар, иначе би ро-

⁵⁸ Стварно, ако тачка кључача воде — као што смо раније казали (стр. 174) — пада са 3° са пењањем на сваки километар, онда се за снижење температуре кључача на 66° вальа попети на $34 : 3 =$ око 11 km.

манописац морао натерати инструменат да покazuје другу цифру, а не ону коју би морао показати по физичким законима.

Да најпи јунаци нису доспели на замишљену комету, него, на пример, на Марс, где атмосферски притисак не прелази 60—70 mm, они би имали кључалу воду још мање топлу — од свега 45 степени!

Напротив, веома врућа кључала вода може се добити на дну дубоких ровова, где је ваздушни притисак знатно већи него на површини земље. У окну дубоком 300 m вода кључала на 101°, у дубини од 600 m — на 102°.

При знатно повећаном притиску про克ључа вода и у котлу парне машине. На пример, при 14 атмосфера вода проври на температури од 200 степени! Међутим под звоном ваздушне пумпе може се вода довести до кључача при обичној температури собе; може се добити »кључала« вода на температури од свега 20 степени.

Врели лед

Малочас смо говорили о прохладној кључалој води. А још је чуднија ствар: врели лед. Навикли смо да мислимо како вода у чврстом стању не може да постоји на температури изнад 0°. Истраживања енглеског физичара Бриџмена су показала да то није тако: под веома великим притиском вода прелази у чврсто стање и остаје у њему на температури која је знатно виша од нуле. Бриџмен је уопште показао да може постојати неколико врсти леда. Лед који је он назвао »лед бр. 5« добија се под чудовишним притиском од 20.600 атмосфера и остаје чврст на температури од 76° Ц. Он би нам спржно прсте кад бисмо га могли додирнути. Међутим, немогуће је додирнути га: лед бр. 5 се ствара под притиском снажне пресе у посуди дебелих зидова од најбољег челика. Не може се видети нити узети у руке; својства »врелог леда« сазнају се само посредним путем.

Интересантно је да је »врели лед« гушћи од обичног, гушћи чак и од воде: његова је специфична тежина 1,05. Он би морао у води тонути, док обични лед на њој плива.

Хладноћа из угља

Десбити из угља хладноћу уместо топлоте није нешто што се не може постићи: то се свакодневно остварује у фабрикама такозваног »сухога леда«. Постоји таква фабрика у ССРБ близу Москве (у Фиљама). Ту у котловима изгара доњеци угља, а дим, који се при том ствара, пречишћава се, при чему се угљиков оксид који се у њему садржи хвата у облику киселог раствора. Издвојен затим у чистом облику, путем загрејавања, угљиков оксид се при хлађењу и сабирању које затим наступа претвара у течно стање под притиском од 70 атмосфера. То је она течна угљична киселина која се у балонима дебелих зидова испоручује фабрикама пенушавог пића, а која се употребљава за индустриске сврхе. Она је довољно хладна да заледи земљиште, као што се радило при изградњи московског метроа. Међутим, за многе је сврхе потребна угљична киселина у чврстом облику, тј. оно што се назива сухим ледом.

Сухи лед, тј. угљична киселина у чврстом стању, добија се из течне угљичне киселине при њеном брзом испаравању под смањеним притиском. Комади сухога леда потсећају по спољашњости пре на пресован снег, него на лед, и уопште се много разликују од чврсте воде. Лед од угљиковог оксида је тежи од обичног леда и тоне у води. И поред ванредно ниске температуре (минус 78°), његову хладноћу не осећамо на прстима, ако опрезно узмемо комад у руку: угљиков оксид — гас који се ствара при дођиру са нашим телом, заштићава кожу од дејства хладноће. Једино ако стиснемо парче сухога леда, ми рескирамо да нам се прсти смрзну.

Назив »сухи лед« ванредно срећно истиче главну физичку особину тога леда. Он заиста није никада мокар и ништа не влажи око себе. Под утицајем топлоте он пређази одмах у гас, прескачући течно стање: под притиском од 1 атмосфере угљична киселина не може да постоји у течном облику. Та особина сухога леда и његова ниска температура чине да је он за практичне потребе незаменива расхлађујућа материја. Производи који се чувају помоћу леда од угљиковог оксида, не само да се не кваре,

неко се чувају од кварења још и тиме што угљиков оксид претставља средину која спречава развијање микроорганизама; због тога се на плодовима не појављују плесни ни бактерије. Инсекти и глодари такође не могу да живе у таквој атмосфери. Најзад, угљична киселина је сигурно средство против пожара: неколико комада сухога леда бачених у запаљени бензин, гасе ватру. Све то обећава у будућности сухоме леду најширу примену у индустрији и домаћинству.



ГЛАВА ОСМА

МАГНЕТИЗАМ — ЕЛЕКТРИЦИТЕТ

»Камен љубави«

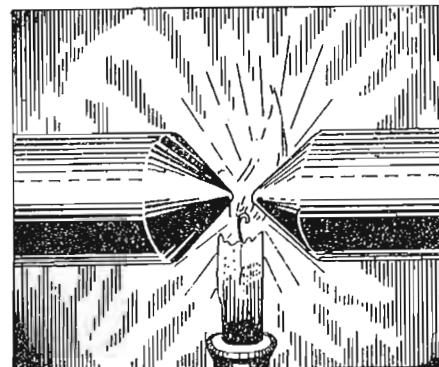
Такав су песнички назив дали Кинези природном магнету. Камен љубави (Тшу-ши) — веле Кинези — привлачи гвожђе као што нежна мајка привлачи своју децу. Необично је да и код Француза, — народа који живи на супротном крају Старога Света, сусрећемо сличан назив за магнет: »aimant«.

Снага те »љубави« код природних магнета је незната, и због тога веома наивно звучи грчки назив за магнет — »Херкулов камен«. Кад су се становници древне Хеладе тако чудили умереној привлачној снази природног магнета, шта би они рекли кад би у савременом рударском предузећу видели магнете који подижу терете тешке по више тона! Истина, то нису природни магнети, него »електромагнети«, тј. железне масе намагнетисане електричном струјом, која пролази кроз намотаје у које су оне обавијене. Али у оба случаја делује сила чија је природа једна иста, — а то је магнетизам.

Не треба мислiti да магнет делује само на гвожђе. Постоји низ других тела на које такође делује снажан

магнет, ма да не у оној мери у којој делује на гвожђе. Метале: никл, кобалт, платину, злато, сребро, алуминијум — магнет привлачи у слабом степену. Још су необичнија својства такозваних дијамагнетских тела, на пример цинка, олова, сумпора: јак магнет их одбија!

Течности и гасови су такође подложни привлачном или одбојном дејству магнета; истина, у веома малој мери. Магнет мора бити веома јак да би показао своје дејство на те материје. Чисти кисеоник је, на пример, парамагнетичан, тј. магнет га привлачи. Ако се кисеоником напуни салунски мехур, и ако се мехур смести између полова јаког електромагнета, приметно ће се издужити од једног пола до другог, развучен невидљивим магнетским силама. Пламен свећа мења свој обични облик међу крајевима јакога магнета, показујући јасно осетљивост према магнетским силама (сл. 92).



Сл. 92. Пламен свеће међу половима електромагнета

Задатак о компасу

Навикли смо да мислимо како стрелица компаса показује увек једним крајем на север, а другим на југ. Стога ће нам се учинити следеће питање потпуно бесmisлено:

На коме месту земљине кугле магнетска стрелица показује на север са оба своја краја?

Још бесmisленије звучи питање:

Где на земљиној кугли магнетска стрелица са оба своја краја показује на југ?

Ви сте спремни да тврдите како таквих места на нашој планети нема и не може да буде. Јпак, она постоје.

Сетите се да се магнетски полови Земље не подударају са њеним географским половима — и ви ћете, вероватно, сами погодити о којим је местима на нашој планети реч у овом задатку. Који ће правац показивати стрелица компаса када се компас налази на јужном географском полу? Један њен крај биће управљен према магнетском полу који се налази сасвим близу, а други њен крај — у супротном правцу. Али, ма на коју страну да кренемо са јужног географског пола, увек ћемо кренути и север; другог правца са јужног географског пола нема, — свуда око њега је север. Дакле, магнетска игла се тамо налази показује север са оба своја краја.

Тако исто ће стрелица компаса пренетог на северни географски пољ показивати југ са оба своја врха.

Линије магнетских сила

Занимљиву слику претставља цртеж 93, који је ирштан са фотографског снимка: са руке положене на полове електромагнета стрче увис, као чекиње, спонићи крупних ексерса. Рука уопште не осећа магнетску силу: њене невидљиве силнице пролазе кроз руку не показујући ничим своје присуство. А гвоздени ексерси потчињавају се послушно њиховом дејству и распоређују се у одређеном реду, показујући пред нама правац магнетских сила које иду по кривим линијама од једног поља до другога.

Часек нема магнетског чула. Због тога о постојању магнетских сила, које окружују сваки магнет, можемо само посредно да закључујемо⁵⁹. Међутим, није тешко

⁵⁹ Није интересантно замислити шта бисмо преживљавали кад бисмо имали непосредно магнетско чуло. Крајдл је успео да, тако рећи, иако имају раковима неку врсту магнетског чула. Он је приметио да млади ракови увлаче у своје уво мале камичке; ти камичци својом тежином делују на осећајну длачицу која код рака чини саставни део органа за равнотежу. Слични камичци, који се називају отолитима, налазе се и тогајчјем уву, у близини главног органа слуха. Детујући у правцу верикале, ти камичци показују правац сије теже. Уместо камичака, Крајдл је подметнуо раковима гвоздену струготину, што они нису приметили. Када је магнет примицао раку, рак се смештао у раван која је перпендикуларна на резултанту магнетске сије и сије теже.

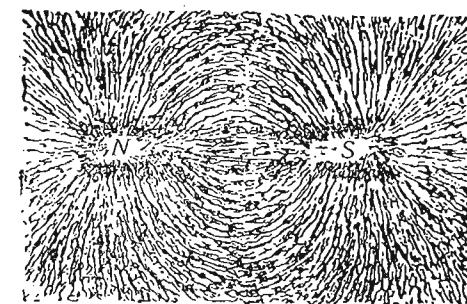
индиректним путем наћи слику распореда тих сила. То се најбоље може учинити помоћу ситне гвоздене струготине. Наспите струготину у танком равном слоју на комад глатког картона или на стаклену плочицу. Примакните под картон или под плочицу обичан магнет и трескајте струготину лаким ударцима. Магнетске сile несметано пролазе кроз картон и стакло; услед тога се гвоздена струготина под дејством магнета намагнетише. Када је тресемо, она се за тренутак одваја од плочице и под дејством магнетских сила може лако да се окрене, заузимајући положај који би у тој тачци заузела магнетска игла, тј. дуж »линија магнетских сила«. Струготина се коначно размести у редове који јасно показују распоред магнетских линија.

Ставимо над магнет нашу плочицу са струготином и трескајмо њоме. Добићемо фигуру показану на сл. 94. Магнетске сile чине сложен систем кривих линија. Ви видите како се оне зракасто разилазе од сваког магнетског поља, како струготина образује

»У последње време успело је да се одговарајући експерименти у друкчијем облику изврше и над човеком. Келер је лепио омање гвоздене честице уз бубну опну; захваљујући томе, уво је таласе магнетске сile осећало као звук (проф. О. Винср).



Сл. 93. Магнетске сile пролазе кроз руку



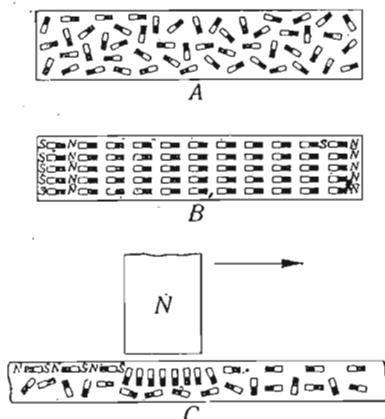
Сл. 94 Размештај гвоздене струготине на картону који лежи на половима магнета.

(Према фотографији)

кратке или дугачке лукове између оба магнетска пола. Гвоздена струготина показује ту на очиглед оно што физичар у мислима види пред собом и што невидљиво постоји око сваког магнeta. Линије које образује струготина утолико су гушће и јасније уколико су ближе полу. Међутим, са удаљавањем од појува оне постају све ређе и губе своју јасноћу, доказујући очигледно слабљење магнетских сила са повећањем удаљености.

Како се магнетише челик?

Да би се одговорило на то питање, које читаоци често постављају, потребно је пре свега разјаснити чиме се разликује магнет од ненамагнетисаног челичног штапића.



Сл. 95. А — распоред атомских магнетића у ненамагнетисаној челичној шипки. В — исто у намагнетисаном челику. С — дејство магнетског пола на атомске магнетиће челика који се магнетише.

Шта се дешава у комадију челика када се трља магнетом? Снагом свога привлачења магнет окреће елементарне магнетиће челичне шипке тако да им се истоимени полови окрећу на исту страну. Сл. 95, С — прегледно показује како се то дешава: елементарни магнетићи окрећу се у почетку својим јужним половима према северном

полу магнета, а затим се и они, када се магнет покреће даље, смештају уздужно, у правцу његовог кретања, јужним половима према средини шипке.

Лако је, према томе, схватити како треба радити са магнетом при магнетисању челичне шипке: на крај шипке треба ставити један пол магнета и, притискујући снажно њиме, вући магнет дуж шипке. То је један од најпростијих и најстаријих начина магнетисања, којим се, међутим, могу добити само слаби магнети омање величине. Снажни магнети израђују се помоћу електричне струје.

Они који се интересују детаљима израде магнета, могу наћи корисна упутства у књизи Б. А. Веденског: »Стални магнети и њихова израда« (ГИЗ, 1922).

Чиновски електромагнети

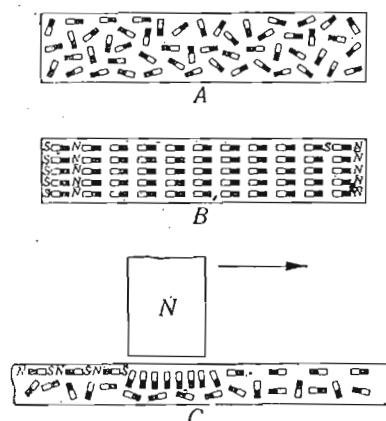
У металургиским предузећима могу се видети електромагнетске дизалице које преносе огромне терете. Такве дизалице чине при подизању и преношењу гвоздених маса неоцењиве услуге у ливницама челика и другим сличним предузећима. Масивни комади гвожђа, или делови машина, тешки десетинама тona, могу се преносити лако помоћу тих магнетских дизалица, без икаквог причвршћивања. Исто тако, те дизалице преносе, без сандука и увезивања, гвожђе у листовима, жицу, ексере, и други материјал чији би пренос на други начин изазвао доста муке.

На сл. 96 и 97 види се та корисна служба магнета. Колико би труда задало сакупљање и преншење гомиле гвоздених плоча, коју одједанпут сакупи и пренесе снажна магнетска дизалица, приказана на сл. 96. Ту се постиже корист не само у уштеди снаге, него и у упрошћавању самога посла. На сл. 97 види се како магнетска дизалица преноси чак и ексере упаковане у бачве, подижући одједном по шест бачава. У једном металургиском предузећу пуштене су у рад недавно четири магнетске дизалице, од којих свака може да пренесе одједном по десет шина; дизалице замењују ручни рад две стотине радника. Не треба се бринути за причвршћивање тих предмета за дизалицу; нема опасности да ће терет пасти

кратке или дугачке лукове између оба магнетска поља. Гвоздена струготина показује ту на очиглед оно што физичар у мислима види пред собом и што навидљиво постоји око сваког магнита. Линије које образује струготина утолико су гушће и јасније уколико су ближе полу. Међутим, са удаљавањем од пољова оне постају све ређе и губе своју јасноћу, доказујући очигледно слабљење магнетских сила са повећањем удаљености.

Како се магнетише челик?

Да би се одговорило на то питање, које читаоци често постављају, потребно је пре свега разјаснити чиме се разликује магнет од ненамагнетисаног челичног штапића.



Сл. 95. А — распоред атомских магнетића у ненамагнетисаној челичној шипки. В — исто у намагнетисаном челику. С — дејство магнетског поља на атомске магнетиће челика који се магнетише.

магнетом? Снагом свога привлачења магнет окреће елементарне магнетиће челичне шипке тако да им се истоимени полови окрећу на исту страну. Сл. 95, С — прегледно показује како се то дешава: елементарни магнетићи окрећу се у почетку својим јужним половима према северном

полову магнета, а затим се и они, када се магнет покреће даље, смештају уздужно, у правцу његовог кретања, јужним половима према средини шипке.

Лако је, према томе, схватити како треба радити са магнетом при магнетисању челичне шипке: на крај шипке треба ставити један пол магнета и, притискујући снажно њиме, вући магнет дуж шипке. То је један од најпростијих и најстаријих начина магнетисања, којим се, међутим, могу добити само слаби магнети омање величине. Снажни магнети израђују се помоћу електричне струје.

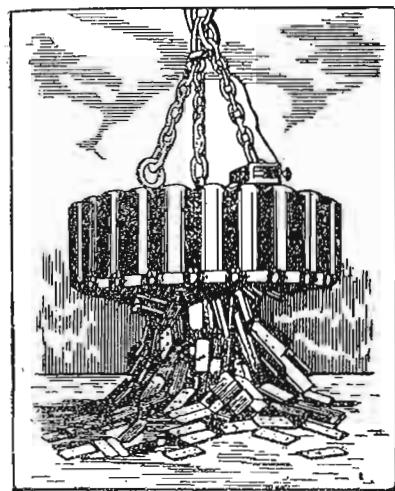
Они који се интересују детаљима израде матнета, могу наћи корисна упутства у књизи Б. А. Веденског: »Стални магнети и њихова израда« (ГИЗ, 1922).

Чиновски електромагнети

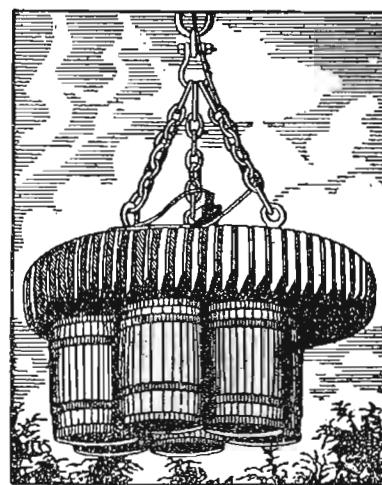
У металургиским предузећима могу се видети електромагнетске дизалице које преносе огромне терете. Такве дизалице чине при подизању и преношењу гвоздених маса неоцењиве услуге у ливницама челика и другим сличним предузећима. Масивни комади гвожђа, или делови машина, тешки десетинама тona, могу се преносити лако помоћу тих магнетских дизалица, без икаквог привршћивања. Исто тако, те дизалице преносе, без сандука и увезивања, гвожђе у листовима, жицу, ексере, и други материјал чији би пренос на други начин изазвао доста муке.

На сл. 96 и 97 види се та корисна служба матнета. Колико би труда задало сакупљање и преносење гомиле гвоздених плоча, коју одједанпут сакупи и пренесе снажна магнетска дизалица, приказана на сл. 96. Ту се постиже корист не само у уштеди снаге, него и у упрошћавању самога посла. На сл. 97 види се како магнетска дизалица преноси чак и ексере упаковане у бачве, подижући одједном по шест бачава. У једном металургиском предузећу пуштене су у рад недавно четири магнетске дизалице, од којих свака може да пренесе одједном погдесет шина; дизалице замењују ручни рад две стотине радника. Не треба се бринути за причвршћивање тих предмета за дизалицу; нема опасности да ће терет пасти

и било кога пригњечити: док струја тече кроз намотај електромагнета, дотле ни најмањи комадић неће с њега пасти. Невидљиве магнетске силе су сигурије од снажних гвоздених реза и ланаца.



Сл. 96. Електромагнетска дизалица која преноси гвоздене плоче



Сл. 97. Електромагнетска дизалица која преноси бачве са ексерима

Али, ако би струја из било кога узрока престала да тече кроз намотај, штета би била неизбеђна. Такви су се случајеви у почетку дешавали. »У извесном америчком предузсју, — читамо у једном техничком часопису, — електромагнет је дизао комаде ливеног гвожђа, који су били довожени у вагонима, и бацао их у пећ. Изненада се у електричној централи на Нијагарином водопаду, који је давао струју, нешто десило — и струја се прекинула. Маса метала се откинула са електромагнета и сручила се целом својом тежином на главе радника. Да би се избегло понављање таквих несрећних случајева, а такође и у циљу уштеде у потрошњи електричне енергије, на електромагнетима се израђују нарочити уређаји. Пошто магнет подигне предмете који се преносе, са стране се

спуштају и чврсто затварају снажне хваталице, које затим саме држе терет, јер се струја за време преношења терета прекида.«

Пречник електромагнета приказаних на сл. 96 и 97 достиже $1\frac{1}{2}$ м; сваки је магнет способан да подигне до 16 т (теретни вагон). Један такав магнет пренесе за 24 сата више од 600 т терета. Има електромагнета који могу да подигну одједном до 75 т, то јест целе локомотиве.

Имајући у виду такав рад електромагнета, можда ће се код понеког читасца појавити мисао: како би било згодно помоћу електромагнета преносити усијано лијено гвожђе! Нажалост, то је могућно само до извесне температуре, јер се усијано гвожђе не може да намагистиши. Магнет који се загреје до 800° губи магнетска својства.

Савремена техника обраде метала широко се користи електромагнетима за придржавање и помицање челичних и гвоздених израда. Конструисане су стотине разних патрона, столова и других уређаја који знатно упростијују и убрзавају обраду метала.

Вештине са магнетом

Снагу електромагнета искоришћују понекад и мађиничарци. Љако је замислiti како ефектне трикове они могу да врше помоћу те невидљиве силе. Дари, писац познате књиге »Примене електричнитета«, наводи следећу причу једног француског мађиничара о претстави коју је приредио у Алжиру. На прилосте гледаоце претстава је учинила утисак ираве чаролије.

»На позорници се — прича мађиничар — налазио оманути окован сандук са ручицом на поклоништу. Позвао сам између гледалаца једног снажнијег човека. Одазивајући се моме позиву, изашао је Арабљанин средњег раста, али снажне грађе, који је изгледао као прави арапски Херкул. Изашао је самопоуздано и чило, смешкајући се помало подругљиво, и стао је пред мене.

— Ви сте веома јаки? — упитао сам, премеривши га погледом од главе до пете.

— Да, — одговори он немарно.
— Јесте ли уверени да ћете увек остати јаки?
— Пстпнуо сам уверен.
— Ви се варате: за трен ока ја вам могу одузети снагу и ви ћете постати слаби као мало дете.

Арабљанин се презирво осмехнуо у знак да не верује мојим речима.

— Дођите овамо — рекао сам — и подигните сандук.

Арабљанин се нагнуо, подигао је сандук и гордо је упитао:

— И више ништа?
— Сачекајте мало, — одговорио сам.

А затим, пошто сам узео озбиљан изглед, учинио сам заповеднички гест и изговорио сам свечаним тоном:

— Ви сте сада слабији од жене. Покушајте поново да подигнете сандук.

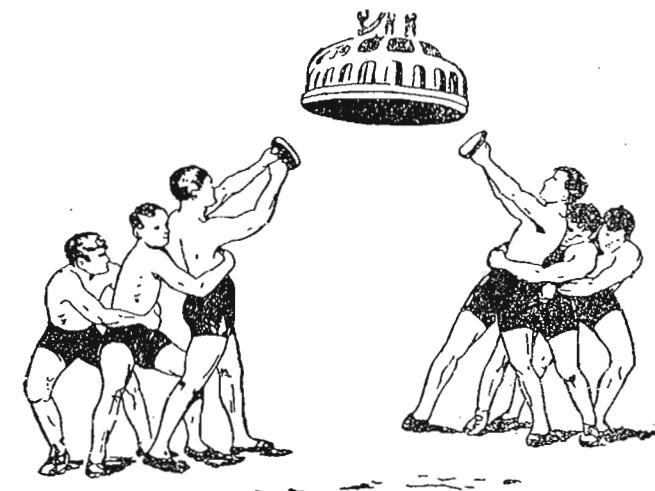
Јувачина, не плашићи се нимало моје чаролије, дохвати поново сандук, али овога пута сандук се није дао и, без обзира на очајне Арабљанинове напоре, остао је непокретан, као прикован за место. Арабљанин се напрезао да подигне сандук са таквом снагом каква би била довољна за подизање огромне тежине, али је све било узалуд. Заморен, задихан и црвен од стида, он је најзад одустао. Тада је почeo да верује у снагу чаролије.«

Тајна чаролије претставника »цивилизације« била је проста. Гвоздено дно сандука било је смештено на подлогу која је претстављала један пол снажног електромагнета. Када није било струје, сандук није било тешко подићи; али је било довољно пустити струју у намотај електромагнета, па да сандук не подигну ни два или три человека.

Магнет у фискултури

Снажни магнети добили су неочекивану примену у фискултури: тешки атлетичари у Америци тренирају на електромагнетском апарату, који је приказан на сл. 98. На извесној висини од пода, мало већој од човечјег раста, обеси се електромагнет који се употребљава за дизалице,

и атлета, који држи у руци гвоздену пеглу, настоји да савлада магнетско привлачење. У зависности од струје, којом регулише тренер, привлачење бива различно и



Сл. 98. Примена спажног магнета у фискултури

може достићи такву снагу да се атлета, који не жели да пеглу испусти из руке, излаже могућности да га магнет привуче и да о њему виси, кад му другови заједничким напорима не би помогли да остане на свом месту.

Магнет у земљорадњи

Још је интересантнија она корисна служба коју магнет пружи у сеоској привреди, помажући земљораднику да очисти семење културних биљака од страног семења. Биљке са длакавим семенкама, које се хватају за вуну и длаку животиња у пролазу, распостиру се, захваљујући томе, далеко од материнске стабљике. Ту њихову особину, која је стечена у току милиона година борбе за самоодржање, искористила је сеоска привредна техника да би издвојила храпаво семење од глатких семенки корисних биљака, као што су лан, детелина, луцерка. Ако

се семење културних биљака, у коме има страног семења, поспе гвозденим прахом, онда се гвоздена зрница чврсто залепе уз длакаво семење, али не уз глатко семење корисних биљака. Када се затим таква смеса нађе у пољу дејства доволно јаког електромагнета, семење се аутоматски раздваја на чисто семење и на примесу: магнет извлачи из смесе све семенке које су облепљене жељезном струготином.

Такав је »магнетски сепаратор« за чишћење семења лана, детелине и луцерке израдио недавно у СССР Институт за механизацију и електрификацију сеоске привреде; машина избацује око пола тоне семена на сат.

Магнетска машина за летење

У почетку ове књиге споменуо сам занимљиво дело француског писца Сирана де Бержерака: »Историја држава на Месецу и Сунцу«. У њој је, између остalog, описана интересантна машина за летење, чије се дејство заснива на магнетском привлачењу и помоћу које је један од јунака приче долетео на Месец. Наводим дословно то место из поменутог дела:

»Наредио сам да се направе лака гвоздена кола. Потошто сам ушао у њих и удобно се сместио на седишту, почeo сам да бацам високо изнад себе магнетску куглу. Гвоздена кола почела су одмах да се дижу увис. Сваки пут кад сам се приближавао месту са кога ме привлачила кугла, поново сам је бацао увис. Чак и кад сам просто подизао куглу у рукама, кола су се дизала, тежећи да се приближе кугли. После многобројних бацања кугле увис и сталног дизања кола, приближио сам се месту са кога је отложељо моје падање на Месец. А како сам тада чврсто држао у рукама магнетску куглу, кола су се приблијала уза ме и нису сдјурила без мене. Да се не бих разбио при паду, бацао сам своју куглу тако да се падање кола успри привлачном снагом магнета. Кад сам био свега на две-три стотине хвати од површине Месеца, почeo сам да бацам куглу под правим углом на правац падања, док се кола нису нашла сасвим близу Месеца. Та сам искочио из кола и благо се спустио на песак.«

Нико, наравно, — ни писац романа, ни читаоци књиге — и не сумњају у потпуну немогућност описане машине за летење. Али не мислим да је много оних који би знали да правилно кажу у чему стварно лежи узрок неостварљивости тога пројекта: да ли у томе што се не може бацити увис магнет који се налази у гвозденим колима, или у томе што магнет неће привући кола, или у нечем другом?

Не, магнет је могућно бацити увис, и он би привукао кола ако би био доволно јак, али ипак машина за летење не би се ипак нимало дигла увис.

Јесте ли имали прилике да какву тешку ствар избацујете са чамца на обалу? Приметили сте, без сумње, да се чамац при томе одбацује назад од обале. Ваши мишји, дајући ствари коју избацујете ударац у једном правцу, одбацују истовремено и ваше тело (а с њим и чамац) у супротном правцу. Овде се појављује онај закон једнакости сила дејства и противдејства, о коме смо већ више пута говорили. При бацању магнета дешава се то исто: Путник, бацајући магнетску куглу увис (са великим напором, због привлачења које постоји између кугле и гвоздених кола), неизбежно одбацује цела кола доле. Када се затим кугла и кола поново приближе узјамним привлачењем, они се само враћају на првобитно место. Јасно је, према томе, да би се бацањем магнетске кугле могло дати колима, кад не би била нимало тешка, само кретање око извесног средњег положаја; она се тим начином не би могла стално кретати напред.

У време Сираново (средина XVII века), закон дејства и противдејства још није био проглашен; због тога се може сумњати у то да би француски сатиричар могао потпуно објаснити зашто је немогућан његов шаљиви пројекат.

Слично »Мухамедовом гробу«

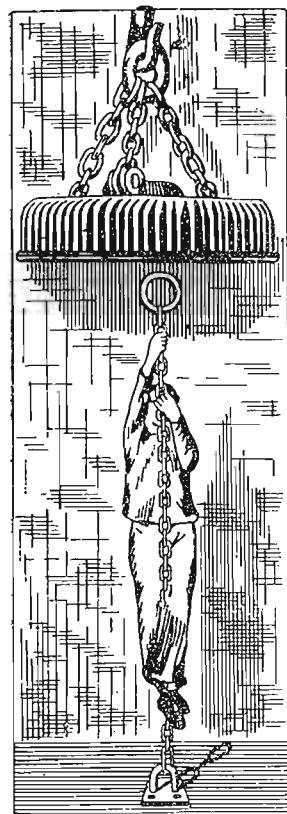
Интересантан је случај запажен једанпут при раду са електромагнетском дизалицом. Један радник је приметио да је електромагнет привукао тешку гвоздену куглу са кратким ланцем, причвршћеним уз под, који није дао

кугли да се сасвим приближи магнету: између кугле и магнета остао је размак широк као длан. То је била необична слика: ланац који је стрчао вертикално увис! Снага магнета била је тако јака да је ланац задржао свој вертикални положај чак и када се за тај ланац ухватио радник и остао висећи о њему.⁶⁰ Фотограф, који се налазио у близини, пожурио се да на илочи ухвати тај интересантни тренутак, и ми доносимо овде ту слику човека који лебди у ваздуху налик на легендарни Мухамедов мртвачки сандук (сл. 99).

Речимо узгред нешто и о Мухамедовом гробу. Правоверни мусимани убеђени су да сандук са »пророковим« остацима почива у ваздуху, лебдећи у гробници без икаквог ослонца између пода и ставанице. Је ли то могућно?

»Прича се — писао је Ајлер у својим »Писмима о разним физичким материјама« — као да мешти Мухамедове држи сила некога магнета; то изгледа немогућно, јер вештачки направљени магнети дижу терет највише до 100 фунта.«⁶¹

Такво је објашњење неодржivo. Кад би се на такав начин (тј. помоћу магнетског привлачења) и постигла таква



Сл. 99. Гвоздени ланац који заједно с теретом стрчи увис

⁶⁰ То показује огромну снагу електромагнета, јер привлачно дејство магнета знатно слаби са повећањем растојања између магнетског пола и тела које се привлачи. Магнет у облику потковице, који у непосредном додиру држи терет од 100 грама, смањује своју привлачну снагу за два пута када се између њега и терета стави листић хартије. Ево зашто се крајеви магнета обично не покривају бојом, ма да би их она чувала од рђања.

⁶¹ Написано 1774. г. када електромагнети још нису били познати.

равнотежа у једном тренутку, био би довољан и најмањи ударац, најмање кретање ваздуха, па да се равнотежа наруши, — и тада би сандук или пао на под, или би га привукла таваница. Одржати сандук у непокретном стању — у пракси је исто тако немогућно као и поставити купу на њен врх, ма да се теориски ово последње може допустити.

Уосталом, појава која се приписује »Мухамедовом гробу« може се потпуно извести и помоћу магнета — само не на основу њиховог узајамног привлачења, него напротив — на основу узајамног одбијања. (Често чак и људи који су још недавно учили физику, заборављају на чињеницу да се магнети не само привлаче, него и одбијају. Кад сам у лењинградском »Павиљону занимљиве науке« имао прилике да покazuјем публици појаву одбијања магнета, — то је обично изазивало усклике крањег чујења.) Као што је познато, једноимени магнетски полови узајамно се одбијају. Две магнетске шипке одбијају се ако су смештене тако да се њихови истоимени полови налазе један изнад другога; ако се подеси тежина горње шипке на одговарајући начин, није тешко постићи да она лебди изнад доње, држећи се у стабилној равнотежи без додира с њом. Потребно је само подупирачима од немагнетског материјала — на пример од стакла — спречити окрстање горњег магнета у хоризонталној равни. Под таквим околностима могао би лебдeti у ваздуху и легендарни Мухамедов сандук.

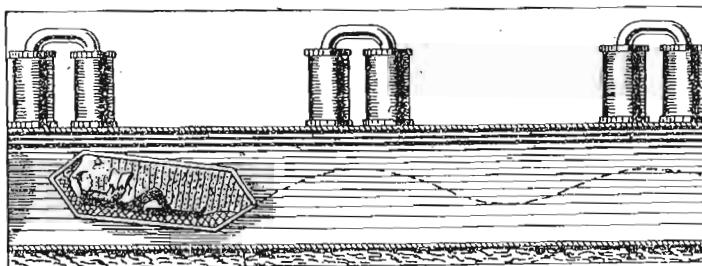
Уосталом, таква се појава може остварити и снагом магнетског привлачења — ако се примењује на тело у покрету. На тој мисли заснива се необичан пројекат електромагнетске жељезнице без трења (види сл. 100), који је изнео совјетски физичар проф. Б. П. Вајнберг. Пројекат је толико поучан да може бити од користи свакоме ко се интересује за физику.

Електромагнетски транспорт

Жељезница чију изградњу предлаже проф. Б. П. Вајнберг, имаће вагоне који ће бити потпуно без тежине; њихову тежину уништава електромагнетско при-

влачење. Стога се нећете зачудити кад сазнате да се по томе пројекту вагони не крећу по шинама, не плове по води, не лете ни по ваздуху, — они лете без икаквог ослонца, не ослањајући се ни на што, лебдећи на невидљивим нитима снажних магнетских сила. Они се крећу без трења, и, према томе, кад се једанпут ставе у покрет, задржавају по инерцији своју велику брзину, и није им потребан рад локомотиве.

То се остварује на следећи начин. Вагони се крећу кроз бакарну цев из које је извучен ваздух, да његов отпор не би сметао кретању вагона. Трење о дно уклања се тако што се вагони крећу не додирујући зидове цеви, јер их у празном простору подржава сила електромагнета. У том циљу, дуж целог пута постављени су изнад цеви, на одређеним растојањима, веома јаки електромагнети. Они привлаче себи гвоздени вагон који јури кроз цев остаје стално између »плафона« и »пода«, не додирујући ни једно ни друго. Електромагнет привлачи увис вагон који пролази испод њега, — али вагон не стиже да удари о плафон, јер та сила тежа вуче доле: а тек што се приближио да додирне под, издигне га привлачење следећег електромагнета... и тако вагон, подухватан стално електромагнетима, јури по валовитој линији без трења, без постсијаја, као планета у свемирском простору.



Сл. 100. Вагон који се креће без трења. Пројекат проф. Б. П. Вајнберга.

Какви су ти вагони? То су цилиндри високи 90 цм и дугачки око $2\frac{1}{2}$ м. Вагон је, наравно, херметички затворен, јер се креће у безвоздушном простору и снабдевен је, као подморнице, апаратима за аутоматско чишћење ваздуха.

Начин пуштања вагона на пут такође се потпуно разликује од свега што се до сада примењивало: може се упоредити само са топовским метком. И стварно, ти се вагони буквально »испаљују« као метци, само што је у овом случају »топ« електромагнетске природе. Устројство отпремне станице засновано је на својству спирално уврнуте жице у облику калема, (т. зв. »соленоида«), да приликом проласка електричне струје кроз њу увлачи у себе гвоздени клип. Увлачење се дешава тако нагло да клип, при довољној дужини намотаја и снази струје, може задобити огромну брзину. У новој магнетској железници та ће сила избацивати вагоне. Како у унутрашњости тунела нема трења, то се брзина вагона не смањује, и они јуре по инерцији, док их не задржи соленоид станице у коју су отпремљени.

Ево неколико појединости које наводи аутор пројекта:

»Експерименти, које сам изводио 1911—1913 г. у физичкој лабораторији Технолошког института у Томску, вршени су са бакарном цеви (са дијаметром од 32 цм), изнад које су се налазили електромагнети, а испод њих на ногарима вагончић — комад гвоздене цеви са точкима напред и позади и с »кљуном«, који, у циљу заустављања, удара о комадић даске прислоњене на врећицу с песком. Тај вагончић био је тежак 10 кг. Било је могућно дати вагону брзину од 6 км на сат, преко које, при ограниченим размерама собе и прстенасте цеви (дијаметар прстена је био $6\frac{1}{2}$ м), није требало ићи. Али, према пројекту који сам разрадио, са соленоидом дугачким три врсте може се на отпремној станици лако постићи брзина од 800—1000 км на сат, а захваљујући отсуству ваздуха у цеви и отсуству трења о под или о плафон, није потребно трошити никакву енергију за одржање те брзине.

»И поред тога што би изградња била скупа, и што би нарочито много стајала бакарна цев, ипак, захваљујући отсуству трошкова на одржавање брзине, на машинс-

вође, кондуктере итд. — километар вожње би стајао — од неколико хиљадитих до 1—2 стота дела копејке; а капацитет на двоцевном путу био би: 15.000 путника или 10.000 тона за 24 сата у једном правцу.«

Идеја професора Б. П. Вајнберга нашла је, у модификованим виду, практичну примену у московској пошти за преношење лаког терета. Дужина ове огледне пруге је 120 метара, брзина кретања 30 метара у секунди. Слична електромагнетска пошта изграђује се у Лењинградској народној библиотеци за предају захтева читајача.

Битка Марсоваца са становницима Земље

Природословац старога Рима Плиније преноси причу, која је у његово време била раширена, о магнетској стени негде у Индији, на обали мора, која је необичном снагом привлачила све гвоздене предмете. Тешко морнару који би се усудио да се на својој лађи приближи тој стени. Она би извукла из брода све ексере, завртње, све гвоздене везе, — и лађа би се расула у саме даске. Доцније је то предање ушло и у приче из »Хиљаду и једне ноћи«.

Наравно, то је само легенда. Ми сада знамо да магнетске планине, планине богате магнетском гвозденом рудом, стварно постоје — сетимо се чувене магнетске планине на којој се сада дижу увис високе пећи Магнитогорска. Ипак је привлачна сила таквих планина ванредно мала, скоро ништавна. А планине или стене о каквима је писао Плиније, не постоје никаде на кугли земаљској. Ако се у садашње време и праве бродови без гвоздених и челичних делова, то се не чини из бојазни од магнетских стена, него ради изучавања земљиног магнетизма. Ђод нас се у Управи северног морског пута пројектује сада таква лађа која не подлежи дејству магнетских сила; на свима њеним саставним деловима, у мотору, у сидру, биће челик и гвожђе замењени бакром, бронзом, алуминијем и другим немагнетичним металима.

Научни романописац Курт Ласвиц искористио је идеју Плинијеве легенде да би измислио страшно ратно оружје, коме у његовом роману »На две планете« при-

бегавају дошљаци с Марса у борби са земаљским армијама. Располажући таквим магнетичким (тачније: електромагнетским) оружјем, Марсовци чак и не улазе у борбу са становницима Земље, него их разоружавају још пре почетка битке.

Ево како описује романописац ту епизоду битке између Марсоваца и становника Земље:

»Сјајни редови коњаника јурнули су нездржivo напред, и чинило се као да је самопрерогна одлучност војске приморала коначно снажнога непријатеља (Марсовце — Ј. П.) на отступање, јер је међу његовим ваздушним лађама дошло до новог покрета. Оне су се дигле у ваздух, као да су се спремале да се уклоне.

Међутим, истовремено се спустила одозго нека тамна, широко распострета маса, која се тек појавила над пољем. Слично покривачу који се размотава, расерила се та маса, окружена са свих страна ваздушним лађама, брзо пад бојним пољем. Први ред коњаника запао је у сектор њеног дејства, — а за час се чудна машина распострла над целим пуком. Њено дејство било је неочекивано и страшно! Споља се разлегао предорни крик ужаса. Коњи и коњаници ваљали су се у кљупчадима по земљи, а ваздух је био испуњен густим облаком копаља, сабља и карабина, које су са звеком и треском летеле увис према машини, на којој су се заустављале.

Машина је клизнула мало устрานу и избацивала своју гвоздену жетву на Земљу. Још два пута се навраћала, и као да је покосила све оружје које се налазило на пољу. Није се нашла ни једна рука која би имала снаге да задржи сабљу или копље.

Та машина била је нов проналазак Марсоваца: она је неодољивом снагом привлачила све што је било направљено од гвожђа и челика. Помоћу тога магнета, који је лебдео у ваздуху, Марсовци су отимали из руку својих противника оружје не наносећи им никаквих озледа.

Ваздушни магнет кренуо је даље и приближио се пешадији. Узалуд су се војници трудили да обема рукама задрже своје пушке, — неодољива сила отимала их је из њихових руку; многи који, ипак, нису хтели да их испусте, били су и сами понесени у ваздух. За неколико

минута, први пук био је разоружан. Машина је кренула за пуковима који су марширали у граду, спремајући за њих исту судбину.

Слична судбина стигла је и артиљерију.«

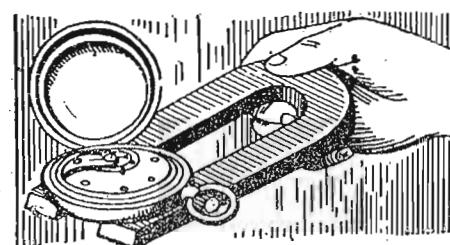
Сат и магнетизам

При читању горњег одломка јавља се, природно, питање: може ли се заштитити од дејства магнетских сила, може ли се скрити од њих иза какве преграде кроз коју оне не могу да прођу.

То је потпуно могућно, и фантастични проналазак Марсоваца могао би бити обезвређен кад би унапред биле предузете потребне мере.

Ма како то било чудно, као материја кроз коју не прођију магнетске силе појављује се то исто гвожђе које се тако лако магнетише! Магнетску иглу, која се налази у гвозденом прстену, не покреће магнет који на њу делује

изван тога прстена. Гвозденом кутијом може челични механизам цепнога сата да се заштити од дејства магнетских сила. Ако бисте ставили златан сат на полове снажног магнета у облику потковице, сви би се челични делови механизма



Сл. 101.

а пре свега као длака танки федер,⁶² намагнетисали и сат би се зауставио. После склањања магнета сат више не бисте могли да вратите у раније стање; челични делови механизма остали би намагнетисани, и сату би била потребна радикална поправка, то јест замена мно-

⁶² Уколико тај федер није направљен од нарочите легуре и нвара, — метала који не може да се магнетише, ма да се у његовом саставу налази гвожђе и никл.

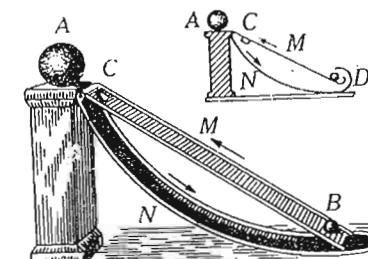
гих делова механизма новим деловима. Због тога са златним сатом не треба правити сличан експерименат, — био би исувише скуп.

Напротив, са сатом чији је механизам добро затворен гвозденим или челичним поклонцима, можете слободно учинити такав експерименат, — магнетске сile не пролазе кроз гвожђе и челик. Приближите такав сат намотајима најјачега динама, — његова тачност неће настрадати ни у најмањој мери. За електротехничаре су такви јефтини часовници идеални, док се златни и сребрни брзо кваре услед дејства магнета.

Магнетски »вечни« покретач

У историји покушаја да се пронађе »вечни« покретач, магнет је одиграо улогу која није била последња. Несрећни проналазачи трудили су се на разне начине да искористе магнет да би изградили механизам који би се вечно кретао сам од себе. Ево једног од пројеката таквог »механизма« (који је описао у XVII веку Енглез Џон Вилкенс, епископ у Честеру).

На стубић се намести снажан магнет *A* (сл. 102). Уза њу се прислоне два коса жлеба *M* и *N*, један испод другога, при чему горњи *M* има омањи отвор *C* у свом горњем делу, док је доњи *N* повијен. Ако се — сматраје проналазач — на горњи жлеб стави омања гвоздена кугла *B*, онда ће се услед привлачне снаге магнета *A* кугла пети увис; међутим, кад стигне до отвора, она ће пропасти у доњи жлеб *N*, скотрљаће се по њему доле, попеће се по облини *D* тога жлеба и наћи ће се на горњем жлебу *M*; одатле ће се, привучена магнетом, поново попети увис, поново пропасти кроз отвор, поново се скотрљати доле и опет се



Сл. 102. Тобожњи вечни покретач

наћи на горњем жлебу, да би поново отпочела кретање испочетка. Тако ће кугла непрекидно јурити напред и назад, остварујући »вечно« кретање.

У чему је апсурдност овога проналаска?

На њу није тешко указати. Зашто је проналазач мислио да ће кугла, пошто се скотрља по жлебу N до његовог доњег kraja, имати још доволно брзине да се попне увис по заобљењу D ? Тако би било кад би се кугла котрљала само под дејством силе теже: она би се тада котрљала убрзано. Али наша кугла налази се под дејством две силе: силе теже и магнетског привлачења. Ово последње је толико јако да може привући куглу од положаја B до C . Према томе, по жлебу N кугла се неће котрљати убрзано, него успорено, и у сваком случају, чак ако и стигне до доњега kraja, неће имати брзину која је потребна да се дигне по заобљењу D .

Описаны пројекат доцније је често избијао на површину у свим могућим модификацијама. Један од сличних пројекта био је чак, ма како то било чудно, патентован у Немачкој 1878. г., тј. тридесет година после проглашења закона о очувању енергије! Проналазач је тако маскирао бесмислену идеју свога »вечног магнетског покретача«, да је довео у заблуду техничку комисију која је издавала патенте. И ма да се, према прописима, не смеју издавати патенти на проналаске који су у супротности са природним законима, проналазак је тога пута био формално патентиран. Вероватно се срећни сопственик тога јединственог патента брзо разочарао у свом чеду, јер је већ после две године престао да плаћа таксе, и необични патент изгубио је законску снагу: »проналазак« је постао опште добро. Па ипак, оно није било ником потребно.

Музејски проблем

У практичном музејском раду појави се често потреба да се читају древни рукописи, који су тако стари да се ломе и цепају чак и при најпажљивијем покушају да се један слој рукописа одвоји од суседног. Како да се раставе такви рукописи?

При Академији наука СССР постоји лабораторија за рестаурацију (обнову) докумената, која има за дужност да решава такве проблеме. У овоме случају лабораторија решава проблем тако што прибегава услугама електричног токова: рукопис се електризује; његови суседни делови, који добијају истоимени набој, одбијају један другог и растављају се без квара. Такав растављен рукопис није више тешко размотати вештим рукама и залепити га на чврсту хартију.

Још о замишљеном вечном покретачу

Међу нашим »проналазачима« вечних покретача дошла је у последње време велику популарност идеја да се споји динамо-машина са електромотором. Сваке године добијам скоро пола туцета сличних пројекта. Сви се они своде на следеће: потребно је точкове електромотора и динамо-машине спојити каишем, а жице од динама везати са мотором. Ако се динамо-машини да први импулс, онда ће струја коју она изазове доћи у мотор и ставити га у кретање; а енергија кретања мотора преносиће се преко каишта на точак динамо-машине, коју ће тиме покретати. На тај би начин — претпостављају проналазачи — машине почеле да покрећу једна другу, и то кретање би престало све дотле док се све машине не би истроплиле.

Та идеја изгледа проналазачима ванредно примамљива; ипак, они који су покушавали да је у пракси остваре, уверили су се сваког пута са чуђењем да ни једна од те две машине не ради под таквим условима. Ништа друго није требало ни очекивати од тога пројекта. Чак и кад би свака од повезаних машина имала стопроцентни коефицијент корисног дејства, могли бисмо их натерати да се на показани начин без престанка крећу само при потпуном отсуству трења. Спој поменутих машина (њихов »агрегат«, да се изразимо језиком инжењера) претставља у суштини машину која би морала сама себе покретати. При отсуству трења кретају се агрегат — као и сваки точак — вечно, али се никаква корист од таквог кретања не би могла извући: било

биовоно натерати »покретач« да врши неки стални рад, и он би се одмах зауставио. Пред нама би било »вечно кретање«, али не и вечни покретач. Уз присуство трења агрегат се уопште не би кретао.

Чудно је како људима који се заносе том идејом не пада напамет још једноставније остварење те исте замисли: везати каишем два каква било точка и завртети један од њих. Руководећи се истом логиком као и у случају предњег спајања машина, морали бисмо очекивати да ће први точак ставити у покрет други, а од другога ће се окретати први. А може се проћи и са једним точком: завртимо га, и његов ће десни део покретати леви, а леви део подржаваће окретање десног. У оба последња случаја бессмислица је исувише очевидна, и због тога такви пројекти никога не заносе. Али, у суштини, сва три описана »вечна покретача« произлазе из једне исте заблуде.

Скоро вечни покретач

За математичара, израз »скоро вечни« — не претставља ништа примамљиво: или је кретање вечно, или није; »скоро вечно« значи, у суштини, да није вечно. Али у практичном животу није тако. Многи би, вероватно, били потпуно задовољни кад би добили на располагање не баш сасвим вечни покретач, него »скоро вечни«, који би био способан да се креће, на пример, хиљаду година. Живот човеков је кратак и хиљаду година је за нас исто што и вечност. Људи који практично гледају на ствари сматрали би, сигурно, да је проблем вечног покретача решен и да се више нема над чим да ломи глава.

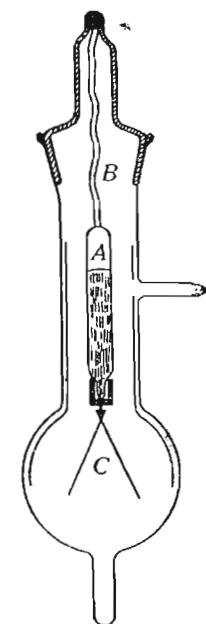
Те људе можемо обрадовати саопштењем да је хиљадугодишњи покретач већ пронађен; може свак, уз извесне трошкове, имати такав вечни покретач. Патент на тај преналазак није нико узео, и он не претставља тајну. Конструкција апаратса који је измислио проф. Стерт 1903 године, и који се обично назива »радиумовим сатом«, веома је једноставна (сл. 103). У стакленој бочици, из које је извучен ваздух, обешена је о квартној нити В (која не спроводи електричитет) омања стаклена цев-

чица А, у којој се налази неколико хиљадитих делова грама радиумове соли. На крају цевчице су, као у електрископу, обешена два златна листића. Радиум, као што је познато, зрачи три врсте зрака: алфа, бета и гама зраке. У датом случају основну улогу играју зраци бета, који лако пролазе кроз стакло и који се састоје од струје негативно набијених честица (електрона).

Честице, које радиум избацује у свима правцима, односе са собом негативни набој, и сама цев са радиумом постепено постаје позитивно набијена. Тада позитивни набој прелази на златне листиће и чини да се они шире. Пошто се рашире, листићи додирну зидове бочице, ту изгубе свој набој (јер су на одговарајућим местима, на зидовима бочице, причвршћене бакарне врпце по којима електрицитет одлази), и листићи се поново спајају. Ускоро се сакупи нови набој, листићи се поново шире, опет предају набој бакарној жици и враћају се назад — да би се поново наелектрисали. Сваке две-три минуте обави се по једна осцилација златних листића, правилно као шеталица сата, — одакле и назив »радиумов часовник«. И то траје годинама, десетинама година, столећима, све док траје испуштање радиумових зрака. Читалац види, наравно, да пред њим није ни у ком случају »вечни«, него само »бесплатни« покретач.

Да ли радиум дugo испушта своје зраке?

Утврђено је да после 1.650 година способност радиума да испушта зраке — упала ослаби. Према томе, радиумов сат ће ићи непрестано више од хиљаду година, умањујући постепено само учестаност својих осцилација, услед слабљења електричног набоја. Да је такав сат био направљен у време оснивања Русије, он би још радио и у наше дане!



Сл. 103. Радиумов сат са скоро »вечним навијањем«, који траје 1.600 година

Може ли се искористити тај бесплатни покретач за било какве практичне сврхе? Нажалост, не. Снага тога покретача, — тј. количина рада коју он обави у секунди, — тако је ништавна да он не може покретати никакав механизам. Да би се постигли колико толико осетни резултати, потребно је располагати знатно већом залихом радиума. Ако се сетимо да је радиум ванредно редак и скуп елеменат, онда ћемо се уверити да би се бесплатни покретач такве врсте показао правом пропашћу.

Грандиозне залихе енергије крију се у дубини атома, у такозваном атомском језгру. Искоришћење његово дало би неисцрпне залихе енергије. Тај проблем решава се пред нашим очима.

Земљина старост

Изучавање закона распадања радиоактивних елемената дало је истраживачима у руке поуздан метод за израчунавање старости Земље.

Шта је то радиоактивно распадање? То је »спонтано« (тј. неизазвано спољним узроцима) претварање једних атома у друге. Интересантно је да то претварање не подлежи никаквим спољним утицајима. Снижење или повећање температуре, притиска итд., нема на брзину тога процеса ни најмањег утицаја.⁶³ Елементи уран и ториј, који се налазе у неким минералима, појављују се као полазни чланови низа радиоактивних елемената, који постепено настају један из другога. Као коначни производ тих промена појављују се: за низ уранових елемената — ураново олово, за низ торијевих елемената — торијево олово. Обе врсте олова разликују се у неколико од обичнот олова својом »атомском тежином«: атом обичног олова је тежи од атома водоника нешто преко 207 пута; атом урановог олова — 206 пута, а торијевог — 208 пута. Према томе, разликовање једне врсте од друге потпуно је могућно.

⁶³ За то би била потребна температура од више десетина милијарди степени.

Ово претварање елемената једних у друге праћено је појавом испуштања такозваних алфа-зрака из атома који се распадају. То је струја материјалних честица набијених електричитетом — атома хелија, лакога гаса, који сада игра тако важну улогу у изградњи ваздушних лађа. Владајући у часу ослобођења огромном брзином, они тубе такође свој електрични набој и остају у минералу у виду обичног хелија. Тиме се објашњава присуство хелија у свима радиоактивним минералима.

После овога није више тешко разумети суштину изврсног метода за одређивање старости минерала, па према томе и земљиних слојева у којима се налазе минерали. Већ смо забележили да никакви фактори не могу утицати на темпо радиоактивног процеса. Под свима могућим условима распада се сваке године један исти број атома полазног елемента, тј. од грама урана или торија ствара се сваке године одређена количина хелија, коју су физичари тачно измерили. На пример, један грам урана ствара годишње око један десетмилионити део кубног центиметра хелија. Другим речима, на сваки грам урана накупи се у минералу за десет милиона година — 1 куб. цм хелија. Такав је ход тог природног часовника који радиоактивне материје претстављају за природоделовца.

Анализа радиоактивних минерала утврдила је да у некима од њих садржина хелија достиже 50 куб. цм на 1 гр урана. Одатле произлази да је у том случају распадање урана трајало $50 \times 10,000,000$, тј. 500 милиона година. Џ то је најскромнија оцена, јер је један део хелија у току милиона година могао ишчезнути и, према томе, није узет у рачун.

Ово израчунавање старости минерала контролише се другим израчунавањем, које се заснива на обрачуњу урановог или торијевог олова накупљеног у минералу. Од једнога грама урана ствара се у току једне године дана један шестмилијардити део грама олова. Када се подели утврђена количина урановог олова, нађеног у минералу, са реченим разломком, или друкчије речено: када се помножи са 6 милијарди, — сазнајемо старост минерала. Тај је метод сигурнији од претходног, јер олово не ишче-

зава и, према томе, узима се у обрачун у целости. Резултати се могу упоредити са онима који се добију анализом торијевих минерала (ториј се распада четири пута спорије од урана).

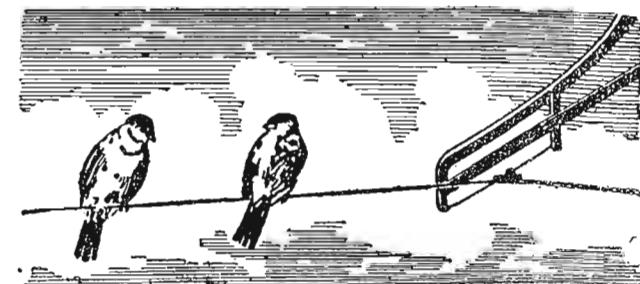
Какав је резултат тога метода? Њиме је утврђено да се старост радиоактивних минерала, нађених у најстаријим преткамбриским таложењима, (који још не садржи никаквих остатака живе природе), може рачунати на 1.500 милиона година. Али океани на чијем су се дну таложили ти слојеви створили су се, наравно, још раније. Према томе, поменути број претставља доњу границу старости океана. Геологија учи да период времена који је протекао од епохе стварања океана захвати већи део историје наше планете. Џакле, анализа радиоактивних минерала сведочи о томе да Земља у сваком случају постоји не мање од 1.500 милиона година.

Може се ићи и даље. Ако се учини веома вероватна претпоставка да целокупна количина олова у спољнем делу земљине коре потиче од распадања атома урана и торија, онда се може одредити и торња граница старости Земље. Сазнаћемо тада да од времена стварања земљине коре није протекло више од 3.000 милиона година. Употребујући обе оцене — минималну (1.500 милиона година) и максималну (3.000 милиона), добијамо као највероватнију цифру земљине старости: око 2.000 милиона година.

Две хиљаде милиона година — број од кога хвата вртоглавица не само у упоређењу са животом појединог човека, него и са целом историјом човечанства. Ипак, он је веома мали ако се упореди са старошћу нашега Сунца и других звезда, са старошћу коју астрономи не процењују више на хиљаде милиона, него на милионе милиона година. Протекло је много милијарди година пре него што је нека друга звезда пројурила поред нашег сада још усамљеног Сунца, и то тако близу да је изазвала на њему огромни талас плиме усијане материје. Тада се прамен вртенастог облика првобитне материје протегао далеко од материнског тела, а затим се откинуо од њега, распао на одвојене кугле и створио породицу планета. Може бити да је тако отпочела историја наше планете, која има за собом 2.000 милиона година ...

Птице на електричним водовима

Сви знају како је за човека опасан додир трамвајског електричног вода, мреже, или високог напона, када кроз њих тече струја. Такав је додир смртоносан не само за човека, него чак и за крупније животиње. Познато је много случајева у којима су коњи или краве страдали од електричне струје кад су додирнули оборену жицу.



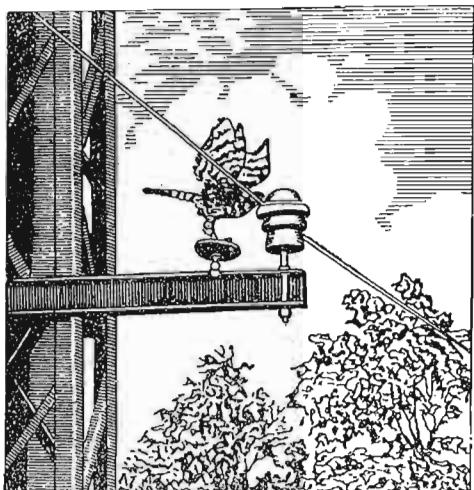
Сл. 104. Птице без опасности стоје на електричном воду. Зашто?

Чиме се објашњава то да птице мирно и потпуно без опасности стоје на електричним водовима? Та се слика често може видети у градовима.

Да би се разумео разлог зашто јака струја није опасна за птице, треба обратити пажњу на следеће: тело птице, која стоји на жици, претставља побочни огранак водачији је отпор, у упоређењу са другим делом вода (кратки део између ногу птице), огроман. Због тога је јачина струје у том огранку (у телу птице) незнатна и безопасна. Али ако би птица, стојећи на жици, додирнула стуб крилом, репом или кљуном; уопште, ако би на било који начин дошла у везу са земљом, она би била тренутно убијена електричном струјом, која би кроз њено тело појурила у земљу. То се често и дешава.

Птице имају навику да стану на конзоле вода високог напона и да чисте кљун о жицу кроз коју тече струја. Како конзола није изолована, то се неизбежно завршава смрћу ако птица, која је у вези са земљом, додирне жицу под електричним напоном. Колико су такви случајеви

Многобројни види се, на пример, из тога што су у Немачкој, у своје време, предузимали нарочите мере да се птице сачувају од погибије. У том циљу су на линије воде високог напона постављана изолована седала, на којима је птица могла не само да стоји, него и да без опасности чисти свој кљун о жицу (сл. 105). У другим случајевима, опасна места се изграђују тако да су птицама неприступачна.



Сл. 105. Изоловано седало за птице на воду високог напона

С обзиром на широки развој који у СССР задобија мрежа водова високог напона, која сваке године све вишесте, било би потребно да се и ми благовремено, у интересу гајења шума и земљорадње, позабавимо чувањем пернатог света од уништавања електричном струјом.

При светlosti муње

Је ли вам се дешавало да за време буре посматрате слику живе градске улице при кратком блеску муње? Приметили сте, сигурно, при томе чудну појаву: улица, пунा покрета, изгледа у таквим тренуцима као замрла.

Коњи се заустављају у напречнутим позама, држећи ноге у ваздуху; кола су такође непокретна; јасно се види сваки паоц на точку...

Узрок привидне непокретности лежи у веома малом трајању муње. Муња, као и свака електрична искра, траје веома кратко време — тако кратко да се чак не може ни измерити обичним средствима. Помоћу директних метода утврђено је да муња траје мање од десетихиљадитог дела секунде, а у сваком случају не више од њеног хиљадитог дела. У тако кратком временском размаку мало шта успева да се покрене толико да би то око могло приметити. Стога није чудо што улица, пуна разноврсних покрета, изгледа при светlosti муње потпуно непокретна: ми примећујемо на њој само оно што траје мање од једног десетхиљадитог дела секунде. Точак аутомобила који се брзо креће успева да се помери само за беззначајни део милиметра; за очи је то исто што и потпуна непокретност. Утисак се појачава још и тим што видни осећај остаје у очима у току знатно дужег времена него што је било трајање муње.

Колико кошта муња?

У оно далеко десета када су муње слали »богови«, такво би питање звучало богохулно. Али у наше трезвено доба, када се електрична енергија претворила у робу која се мери и проценjuје као и свака друга роба, питање колико стоји муња не може уопште изгледати бесмислено. Задатак је у томе да се обрачуна електрична енергија потребна за удар муње, и да се процени по тарифи електричног осветљења.

Ево обрачуна. По најновијим подацима, потенцијал удара муње износи 1.000 милиона волта. Јачина струје проценjuје се притом на 20 хиљада ампера (она се одређује да узгред приметимо — по степену намагнетисаности челичне шипке струјом која прође кроз њен намотај при ударцу грома у громобран). Енергију у ватима добићемо ако помножимо број волта са бројем ампера; при томе, ипак, треба узети урачун то да за време пражњења по-

тенцијал пада до нуле; због тога, при израчунавању енергије удара треба узети средњи потенцијал, или друкчије речено: половину почетног напона.

Имамо:

$$\text{јачина удара} = \frac{1.000.000.000 \times 20.000}{2}$$

тј. 10.000.000.000 вати, или 10 милијарди киловати.

Када се добије тако страшан ред нула, природно је што се очекује да се и новчана вредност муње изрази огромном цифром. Међутим, ако се та енергија преведе у хектоват-часове, који се појављују у рачунима за електрично осветљење, добићемо знатно скромније цифре. Муња не траје више од хиљадитог дела секунде; према томе, требало би платити за беззначајни део хектоват-часа, и то за 360.000.000-ти његов део. Један хектоват-час, по тарифи која важи у Лењинграду, кошта потрошача електричне струје 2,2 копјејке. Одатле није тешко израчунати колико кошта муња:

$$\frac{10.000.000.000.000 \times 2,2}{360.000.000} = 60.000 \text{ копјејки} = 600 \text{ рубала.}$$

Резултат је изненађујући: муња, чија је енергија сто пута већа од енергије хитца тешког артилериског оружја, коштала би по тарифи електричне централе — свега 600 рубала!

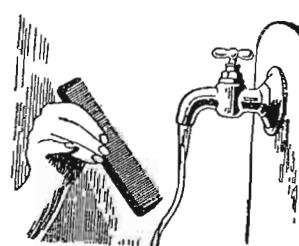
Интересантно је у којој се мери савремена електротехника приближила могућности произвођења муње. У америчким лабораторијама »Општег електричног друштва« достигнут је напон од 10 милиона волти, и добијена је искра дугачка 10 м. И једно и друго је свега сто до две стотине пута мање него код природне муње.

Пљусак у соби

Веома је лако направити код куће омањи водоскок од гумене цеви чији се један крај загњури у ведро, постављено на издигнуто место, или се натакне на цев од чесме. Излазни отвор цеви мора бити веома мали, да би

водоскок избијао у танком млазу. То се најједноставније постиже ако се у слободни крај стави комадић оловке из које је извучен графит. Да би рад са водоскоком био згоднији, тај се слободни крај причврсти у изврнути левак, као што је показано на сл. 106.

Пошто пустите водоскок на висину од пола метра, а млаз управите вертикално увис, приближите му сукном патрљану шипку печатног воска или чешаљ од каучука. Угледаћете у истом часу прилично неочекивану појаву: појединачни мали млазеви водоскока, који падају доле, слиће се у један млаз, који ће са приметним шумом ударати о дио подметнутог тањира. Звук ће потсећати на онај карактеристични шум пљуска са громљавином. »Не подлежи сумњи — примећује тим поводом физичар Бојс — да се баш из тога разлога капљице кише за време громљавине одликују таквом величином.« Одмакните печат, — и водоскок се одмах поново разаспе, и карактеристично ударање капљица замени баги јужног млаза.



Сл. 107. Водени млаз помера се кад му се приближи наелектрисани чешаљ



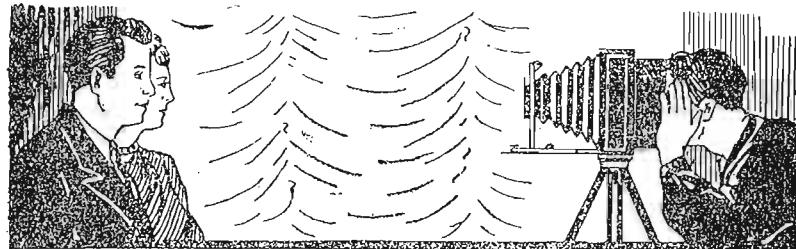
Сл. 106.
Пљусак у минијатури

Пред необавештенима можете да радите са штапићем печатног воска као мађоничар са »чаробном« палицом.

Објашњење тако неочекиваног дејства електричног набоја на водоскок лежи у томе што се капљице наелектришу путем инфлуенције, при чему се делови капљице, који су окренути према воску, наелектришу позитивно, а супротна страна негативно. Тако се разноимено наелектрисани делови капљица нађу веома близу и услед узајамног привлачења разноимених набоја долази до сливања капљица.

Дејство електричитета на водену струју можете утврдити и једноставније. Довољно је да чешаљ сд каучука, који сте провукли кроз косу, приближите танком воденом млазу који тече из чесме: млаз постаје збијен и приметно се искривљује у правцу чешља (сл. 107). Објашњење те појаве је компликованије него претходне; оно је у вези са изменом површинског затезања под дејством електричног набоја.

Приметимо, између осталог, да се тиме што се електрични набој при трењу лако ствара, објашњава и наелектрисавање трансмисионах кашева који се тару о точкове. Електричне искре, које се притом јављају, представљају у неким индустријама озбиљну опасност за изазивање пожара. Да би се то избегло, посребравају се трансмисиони кашеви: танки слој сребра чини кашев спроводником електричитета, и сакупљање набоја нестаје немогућно.



ГЛАВА ДЕВЕТА

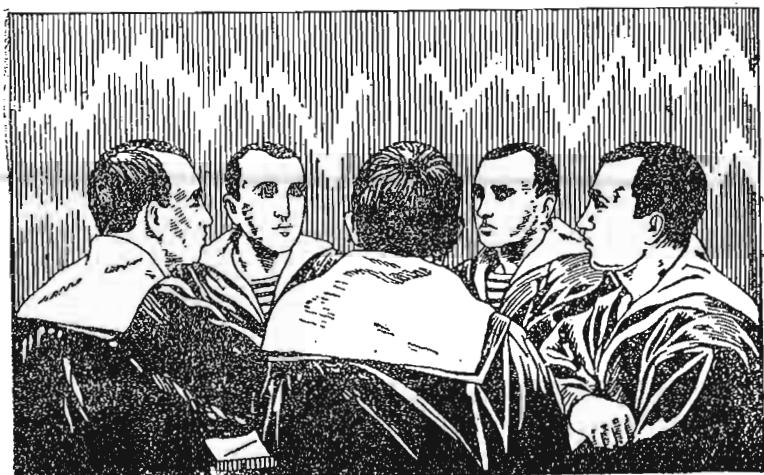
СДБИЈАЊЕ И ПРЕЛАМАЊЕ СВЕТЛОСТИ. ВИД

Петоструки снимак

Као један од куриозитета фотографске вештине појављују се снимци на којима је фотографисано лице приказано у 5 разних поза. На приложеној сл. 108, која је израђена према фотографији, може се видети тих пет положаја. Такве фотографије имају то несумњиво преимућство што дају потпунију претставу о карактерним особинама оригиналa: познато је како се фотографи много брину за то да лицу човека који се фотографише дају најзгоднију позу; овде се одједном добија лице у неколико поза, између којих има више могућности да се ухвати најкарактеристичнија.

Како се добијају такве фотографије? Наравно, помоћу огледала (сл. 109). Особа која се фотографише седи тако да су јој леђа окренута апарату *A*, лице двама равним вертикалним огледалима *C*, која се налазе под углом од једног петог дела од 360° , тј. под углом од 72° . Такав пар огледала мора давати 4 слике, које се према апарату налазе у разним положајима. Апарат фотографише те слике и природни објекат, при чему се на снимку, наравно не виде огледала (која су без оквира). Да се у огледа-

лима не би видео фотографски апарат, заклања се са два екрана (ВВ), између којих се налази мали отвор за објектив.



Сл. 108. Петострука фотографија једног истог лица

Број слика зависи од угла међу огледалима: уколико је угао мањи, утолико је број слика већи. При углу



Сл. 109. Начин на који се добијају петоструке фотографије. Лице које се фотографише смести се између огледала СС

$$\frac{360^\circ}{4} = 90^\circ \text{ добили бисмо 4 слике; при углу } \frac{360^\circ}{6} = 60^\circ \text{ добили бисмо 6 слика, а при } \frac{360^\circ}{8} = 45^\circ -$$

осам слика итд. Међутим, уколико је број слика већи, утолико су слике

нејасније и слабије; због тога се обично раде петоструки снимци.

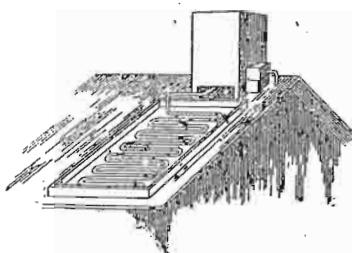
Сунчани покретачи и грејалице

Веома је примамљива мисао да се искористи енергија сунчаних зрака за загревање котла машина. Извршимо један прост рачун. Енергија коју сваке минуте добија од Сунца сваки квадратни центиметар наше планете, који се налази ван граница атмосфере и лежи под правим углом према сунчаним зрацима, брижљиво је измерена. Како изгледа, њена је количина непромењива; због тога је она и назvana »сунчаном константом«. Величина сунчане константе износи (округло) 2 мале калорије на квадратни центиметар у минути. Та порција топлоте, коју Сунце редовно шаље Земљи, не стиже до њене површине у целости: око пола калорије апсорбује атмосфера. Може се рачунати да квадратни центиметар земљине површине, који је под правим углом осветљен сунчаним зрацима, добија сваке минуте приближно 1,4 мале калорије. Ако се прорачуна на квадратни метар, то чини 14.000 малих, или 14 великих калорија у минути, а у секунди око $\frac{1}{4}$ велике калорије. Како једна в. калорија, прелазећи потпуно у механички рад, даје 427 килограм-метара, то би сунчани зраци, који под правим углом падају на површину Земље од 1 кв. м., могли дати преко 100 кгм енергије у свакој секунди, или, другим речима, више од $1\frac{1}{3}$ коњске снаге.

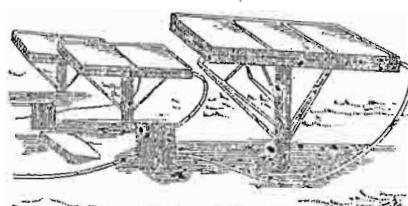
Такав би рад могла извршити енергија сунчевих зрака под најповољнијим условима, то јест: ако зраци падају под правим углом и ако се њихова енергија стопроцентно искористи... Међутим, покушаји директног искоришћавања Сунца као покретачке снаге, који су до сада вршени, били су далеко од таквих идеалних услова. Њихов корисни ефекат није прелазио 5—6%, и тек пројекат америчког физичара проф. Роберта Годарда (који се прославио својим радовима на ракетама) обећава да пружи уређај са корисним дејством већим од 50 процената. Испитивање омањег модела сунчевог покретача његове конструкције са дијаметром од 30 цм (уместо 6 м), дало је резултате који улевају наду. Од уређаја који су у примени, највећи коефицијент корисног дејства даје сунчани покретач познатог америчког физичара проф. Абста: 15%.

Лакше је искористити енергију сунчевих зракова за загрејавање него за добијање механичког рада. У Калифорнији ради индустриско »Друштво водених сунчаних грејалица«, које снабдева потрошаче апаратима за загрејавање, који се стављају на кровове где сакупљају сунчане зраке. Вода загрејана у њима примењује се у домаћинству. Друштво конкурише гасним и другим компанијама.

Нигде се не поклања толико пажње сунчаним постројењима (»хелиотехника«) као у СССР. Њод настоји специјални Свесавезни хелиоинститут (у Самарканду), који врши опсежне истраживачке радове. У Ташкенту ради сунчано купатило са капацитетом од 70 људи на дан. У Ташкенту је такође, како јављају новине, »подигнуто хелиопостројење на крову Ташкентског дома за стручњаке Госплана. Ту је подигнуто 20 сунчаних котлова, који су прорачунати на 200 ведара воде и снабдевају њом у потпуности цelu кућу. Према изјавама хелиотехничара, сунце ће непрекидно загрејавати котлове 7—8 месеца у години. У току осталих 4—5 месеца, загрејаваће се вода у котловима само у ведре дане.«



Сл. 110. Сунчана грејалица
на крову (у Калифорнији)



Сл. 111. Посуде за прокувавање во-
да на сунцу (Систем Трофимова)

Одличне резултате дали су огледи са топљењем сумпора на сунцу (температура топљења је 120° Ц); у плану је изградња топлонице сумпора која би радила на основу енергије сунчевих зрака. Напоменимо још и уређаје на бази сунчане енергије за добијање слатке воде на обалама Касписког и Арапског Мора, сунчане пумпе којима

се замењују примитивне средњоазиске прпаљке, сунчане сушионице за воће и рибе, кухиње у којима се сва јела спремају на зрацима сунца итд. Све то не исцрпљује разноврсне примере вештачки ухваћених сунчаних зракова, који ће одиграти значајну улогу у народној привреди Средње Азије, Кавказа, Крима, Доње Волге и јужне Украјине.⁶⁴

Сан о чаробној капици

Из прастарог времена остала нам је легенда о чаробној капици која учини невидљивим свакога ко је стави на главу. Пушкин, који је у »Руслану и Јудмили« оживео предања дубоке старине, дао је класичан опис чаробних својстава капе-невидимке:

И девојци је пало на ум,
У јубујењу својеглавих замисла.
Да опроба капу Черномора...
Јудмила је завртела кациом
И ставила је на онако,
Намакнувши је на обрве.
И гле! О чуда старих дана!
Јудмила је у огледалу нестала.
Преокреула је капу — и пред њом
Пређашња се Јудмила појавила.
А кад је окренула наопако — опет је нестала;
Скинула опет — и поново се у огледалу видела!
»Прекрасно! Сјајно, чаробњиче!
Сад ми је ту већ без опасно«...

Способност да постане невидљива била је једина заштита заробљеној Јудмили. Под сигурним покровом невидљивости она измиче испред упорних погледа својих

⁶⁴ Они који се детаљније интересују могу наћи подробније податке у чланку С. М. Горљенка: »Коришћење сунчане енергије«, објављеном у »Астрономском календару« за 1935. г.

стражара. Присуство невидљиве заробљенице могли су примећивати само по њеним радњама:

Свуда су стално примећивали
Њене тренутне трагове:
Час су позлаћени плодови
На шумним гранама исчезавали,
Час су калпинце изворске воде
На повијену траву падале:
Тада су сигурно у замку знали
Да пије или једе кнегиња...
Тек што би се дигла ноћна магла, —
Људмила би на водопад ишла
Да се умије под хладним млазом.
Сам је Карла у јутарњи час
Видео једном из палате
Како се под невидљивом руком
Пљускао и расипао водопад.

Већ су се остварили многи примамљиви снови древнога времена; многе чаролије из бајке остварила је наука. Пробијају се планине, хватају се муње, људи лете на ћилимима-авионима... Да ли се може пронаћи и »капа-невидимка«, тј. наћи средство да се човек учини потпуно невидљивим? О томе ћемо сада прговорити.

Невидљиви човек

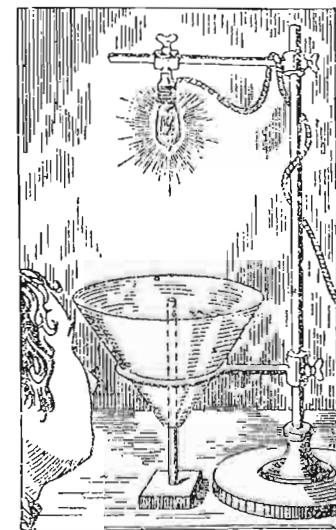
У роману »Невидљиви човек«, (који је такође обрађен и на филму), енглески писац Велс настоји да увери своје читаоце како је потпуно остварљива мгућност да се постане невидљив. Његов јунак (писац романа претставља га као »најгенијалнијег физичара кога је икад видео свет«) открио је начин да човечје тело учини невидљивим. Ево како он излаже своме познанику лекару основе тога свога открића:

»Видљивост зависи од реакције видљивих тела на светлост. Ви знате да тела или апсорбују светлост, или је одбијају, или преламају. Ако тело не апсорбује, не одбија и не прелама светлост, сно само од себе не може бити видљиво. Ти видиш, па пример, непровидну првену кутију због тога што боја

апсорбује један део светлости и одбија (разасипље) остале зраке. Кад кутија не би упијала ниједан део светлости, и кад би је сву одбијала, она би се чинила као блистава, бела сребрна кутија. Бриљантска кутија би упијала мало светлости, њена би површина такође мало светлости одбијала, само би се местимично, на бридовима, светлост одбијала и преламала, дајући нам блиставу видљивост светлуца вих отсаја — нешто као светлосни скелет. Стаклене кутије би се сјајила мање, не би била тако јасно видљива као бриљантска, јер би у њој било мање одбијања и мање преламања. Ако се комад обичног белог стакла стави у воду, или, још боље, ако се стави у коју било течност гушћу од воде, — оно скоро потпуно исчезава, — јер се светлост, која кроз воду пада на стакло, прелама и одбија веома слабо. Стакло постаје исто тако невидљиво као и струја угљичне киселине или водоника у ваздуху, из тога истог узрока.

— Да, — рече Кеми (лекар), — све је то врло просто и у наше време познато сваком ученику.

— А ево још једне чињенице која је такође позната сваком ученику. Ако се комад стакла истуче и претвори у прашак, он се знатно боље види у ваздуху, постаје непроридни бели прашак. То се дешава због тога што дробљење умножава стаклене површине које врше одбијање и преламање светлости. Код стаклене плочице постоје само две површине, док код прашка светлост одбија и прелама свако зрење кроз које



Сл. 112.
Невидљива стаклена палица

она пролази, и кроз прашак продире веома мало светlosti. Али ако се бело истуцано стакло стави у воду, — оно одмах исчезава. Истуцано стакло и вода имају приближно једнак индекс преламања, тако да се, прелазећи са једног на друго, светlost прелама веома мало.

Ако стакло ставите у било коју течност са скоро једнаким индексом преламања, учините га невидљивим: свака провидна ствар постаје невидљива ако је ставите у средину која има с њом једнак индекс преламања. Довољно је сасвим мало размислiti па да се уверимо да се стакло може учинити невидљивим и у ваздуху: потребно је поступити тако да његов индекс преламања буде једнак индексу преламања ваздуха, јер се тада, прелазећи са стакла на ваздух, светlost неће уопште ни одбијати ни преламати.⁶⁵

— Да, да, — рече Кемп. — Али човек није исто што и стакло.

⁶⁵ Невидљивост потпуно провидног предмета можемо постићи ако га окружимо зидовима који расипају светlost потпуно равномерно. Око, које гледа унутра кроз омањи отвор са стране, добија тада са свих тачака предмета баш толико светlostи као кад предмета уопште не би било: никакве светле површине или сенке не одају његово присуство.

Ево како се може извести такав оглед. Нарави се левак од бензог картона са пречником од пола метра, као што је показано на сл. 112, на извесној удаљености од електричне лампе од 25 свећа. Одоздо се увуче стакленi штапићi, по могућности строго вертикално. Најмање скретање од вертикалног положаја чини да штапићигледатаман дуж осовине и светао по крајевима, или обрнуто: светао дуж осовине, а таман на крајевима. Оба вида осветљења прелазе један у други при лакој изменнијији положају штапића. После низа покушаја може се постићи потпуно равномерно осветљење штапића, — и тада он у очима оног ко гледа кроз уски бочни отвор (не шири од 1 им) потпуно исчезава. При таквим условима експеримента постиже се потпuna невидљивост стакленог предмета, без обзира на то што се његова способност преламања светла силно разликује од способности преламања ваздуха. Други начин помоћу кога се може, на пример, учинити невидљивим, комад брушеног стакла, састоји се у томе да се стакло стави у кутију која је изнутра премазана светлом бојом.

— Не, он је провиднији.

— Бесмислица!

— И то каже природњак! Зар сте за десет година успели да сасвим заборавите физику? Хартија се, на пример, састоји од провидних влакана, она је бела и непровидна из истог разлога из кога је бео и непровидан стакленi прашак. Намастите белу хартију, испуните машћу размаке међу влакнima, тако да се преламање и одбијање врши само на површини, — и хартија ће постати провидна као стакло. И не само хартија, него и влакна у платну, влакна вуне, влакна дрвета, наше кости, мишићи, косе, нокти и живци! Једном речју, сав састав човека, изузев црвене материје у његовој крви и тамног пигmenta у коси, — све се састоји од провидног безбојног ткива; ето како мала ствар чини да видимо један „чугога!“

У потврду тих расуђивања може послужити чиненица да се дракон непокривене животиње — албини (чије ткиво не садржи обожене материје) одликују у знатној мери провидношћу. Један зоолог, који је у лето 1934. г. нашао у Дјетском Селу примерак беле жабе-албина, описује је овако: »Танка кожна и мишићна ткива пропуштају светlost: види се утроба, скелет... Код жабе-албина види се веома лено кроз трбушни ћид стезање срца и црева.«

Јунак Велсовог романа нашао је начин да учини провидним сва ткива човечјег организма, па чак и његове обожене материје (пигменте). Са успехом је применено своје откриће на властито тело. Експеримент је сјајно успео, — проналазач је остао потпуно невидљив.

О даљој судбини тог невидљивог човека одмах ћемо сазнати.

Моћ невидљивог

Писац романа »Невидљиви човек« доказује, са необичном духовитошћу и доследношћу, да човек који постане провидан и невидљив добија, захваљујући томе, скоро неограничену моћ. Он може неприметно прорети у сваку просторију и некакњено красти било које ствар.

ри, пошто га не могу ухватити. Захваљујући његовој невидљивости, он се успешно бори са целом гомилом наоружаних људи. Претећи свима људима неизбежном тешком казном, невидљиви човек држи под својом влашћу становништво целога града. Док њега не могу ухватити ни озледити, он сам, међутим, има ту могућност да наноси штету свима осталим људима. Ма како се они довијали да се од њега одбране, невидљиви непријатељ их пре или после достиже и побеђује. Тако изузетан положај међу осталим људима даје јунаку енглеског романа могућност да се преплашеном становништву свога града обраћа, на пример, оваквим наредбама:

»Град од сада више није под влашћу краљице! Кајите то вашем пуковнику, полицији и свима; он је под мојом влашћу! Данашњи дан је први датум прве године нове ере, ере невидљивог! Ја сам — Невидљиви Први. У почетку ће моја владавина бити милостива. Првога дана ће бити свега једна казна, ради примера, казна над човеком који се зове Кемп. Данас ће га сустићи смрт. Нека се затвара, нека се скрива, нека се окружи стражарима, искса се окује у окlop, — смрт, невидљива смрт га сустиже! Нека предузме мере предострожности, — то ће само учинити дубљи утисак на мој народ. Смрт га сустиже! Не помажи му, ми народе, да смрт не би и тебе сустигла.«

И у прво време невидљиви човек триумфује. Тек са огромним трудом успева преплашено становништво да изађе на крај са невидљивим непријатељем, који је машило о томе да постане његовим господарем.

Провидни препарати

Да ли су тачна физичка расуђивања која се налазе у основи овог фантастичног романа? Безусловно. Сваки провидни предмет у провидној средини постаје невидљив чим је разлика у њиховим индексима преламања мања од 0,05. Десет година доцније, пошто је енглески романописац написао свог »Невидљивог човека«, немачки анатом професор В. Шпалтехолц је практично остварио

његову идеју, — истина не на живим организмима, него на мртвим препаратима. Сад се могу видети провидни препарати појединих делова тела, па чак и целих животиња у многим музејима.

Начин израде провидних препарата, који је разрадио проф. Шпалтехолц (1911. г.), састоји се, укратко, у томе што се, после извесне обраде, — бељења и испирања, — препарат натапа метиловим етером салицилне киселине (то је безбојна течност са јаким преламањем зракова). Тако препарирани пацови, рибе, разни делови човечјег тела итд., стављају се у посуду напуњену истом течношћу.⁸⁶

Притом се, наравно, не тежи да се постигне потпуна провидност препарата, јер би у том случају они постали потпуно невидљиви, па према томе и некорисни за анатома. Али ако би се желело, могло би се постићи и то.

Наравно, одатле је још далеко до остварења Велсове утопије о живом човеку, провидном толико да би био потпуно невидљив. Далеко је то због тога што је још потребно, прво, наћи начин да се ткива живог организма натопе течношћу која их чини провидним, а да се не наруши његове функције. Друго, препарати проф. Шпалтехолца су само провидни, али не и невидљиви; ткива тих препарата могу бити невидљива само док су загњурена у течност са одговарајућим индексом преламања. Она ће бити невидљива у ваздуху само онда кад индекс њиховог преламања буде једнак индексу преламања ваздуха, а како да се то постигне — још не знамо.

Али претпоставимо да се с временом постигне и једно и друго и да се, према томе, оствари машта енглеског романописца. Да ли ћемо тада имати невидљиве борце,

⁸⁶ За оне моје читаоце-природњаке који би желели да сами израде провидне препарате, наводим брошуру која даје неопходна практична упутства: проф. Д. К. Третјаков, Шпалтехолцови провидни препарати, 1914. Брошура је издата у Бендерима и сад се може наћи само у библиотекама (заједно са другим издањима пререволуционарног часописа: »Школске екскурзије и школски музеј«).

невидљиве батаљоне, који ће се изненада наћи у непријатељској позадини и уносити панику у целу армију својим недокучљивим, надприродним делима?

Писац је у роману све тако брињљиво промислио и предвидео да човек и нехотице подлеже убедљивости описаних догађаја. Изгледа као да би невидљиви човек стварно морао бити најмоћнији од свих смртних...

Али то није тако.

Има једна мала околност коју је изгубио из вида оштроумни писац »Невидљивог човека«.

То је питање:

Да ли невидљиви човек може видети?

Да је Велс поставио себи то питање пре него што је написао роман, чудна прича о невидљивом човеку не би никад била ни написана...

Уствари, у тој се тачки руши сва илузија о моћи невидљивог човека. Невидљиви човек мора бити слеп!

Зашто је јунак романа невидљив? Зато што су сви делови његовог тела — па међу њима и очи — постали провидни, и притом је индекс њиховог преламања једнак индексу преламања ваздуха. Сетимо се у чему се састоји улога очију: њихова сочива, стакласта течност и други њихови делови преламају светлосне зраке тако да се на мрежњачи добије слика спољних предмета. А ако је индекс преламања ока и ваздуха једнак, онда се самим тим отклања једини узрок који изазива преламање: прелазећи из једне средине у другу са једнаким индексом преламања, зраци не мењају свој правац и не могу, према томе, да се састају у једној тачки. Зраци би пролазили кроз очи невидљивог човека потпуно несметано, не преламајући се и не задржавајући се у њима — с обзиром на отсуство пигмента,⁶⁷ — и према томе: они му не би могли дати осећај никакве слике.

⁶⁷ Да би изазвали било какав осећај код животиње, светлосни зраци морају извршити у њеном оку извесне, макар и најнезначајније, промене, тј. извршити одређен рад. Због тога око мора, макар само делимично, задржавати светлосне зраке. Потпуно провидно око, наравно, не може задржавати зраке. — иначе не би било провидно.

Дакле, невидљиви човек не може ништа видети. Сва су његова преимућства за њега бескорисна. Страшни претендент на власт лутао би пилајући, молећи милостињу, коју му нико не би могао дати, јер је просјак невидљив. Уместо најмоћнијег међу смртнима, пред нама би био беспомоћни богаљ, осуђен на чемеран живот.⁶⁸

Моћ савремене подморнице састоји се такође у њеној невидљивости, — у томе што се она неприметно прикраде наоружаноме челичном гиганту и шаље на њега свој разорни торпедо. Али довољно је да се прецизним хицем подморница тогоди у њено око — перископ — и она постаје беспомоћна: »слепоћа« је лишава могућности да се користи преимућствима невидљивости.

Дакле, у трагањима за »калом-невидимком« бескорисно је ићи путем на који је указао Велс, — тај пут не може довести до циља.

Заштитна боја

Али постоји други пут за решење проблема »кале-невидимке«. Он се састоји у бојењу предмета одговарајућом бојом, која ће их учинити неприметним за очи. Томе начину стално прибегава природа: дајући својим створењима »заштитну« боју, она се у најширим размерима служи тим простим средством да би заштитила своја створења од непријатеља, или да би им олакшала тешку борбу за самоодржање.

Код свих животиња, које се заштићују тиме што су провидне, очи — ако их имају — нису потпуно провидне. »Непосредно испод морске површине, — пише чувени океанограф Мереј, — већина је животиња провидна и безбојна; када се извуку у мрежи, оне се разазнају само по малим црним очима, јер је њихова крв лишена хемоглобина (црвене материје) и потпуно је провидна.«

⁶⁸ Могућно је да је романописац допустио ту битну грешку. Познато је каквом литерарном начину обично прибегава Велс у својим фантастичним творевинама. Он заклања од читаоца основну грешку фантастичне композиције обиљем реалистичких појединости. У предговору америчком издању његових фантастичних романа, он пише: »Чим се изведе магични потез, све се остало мора приказати вероватним и свакодневним. Не треба се ослањати на снагу логичких доказа, него на илузију коју ствара уметност.«

Оно што војници називљу »заштитном бојом«, зоологи, када је реч о појави у природи, од Дарвиновог времена називљу то истим именом. Има хиљаде примера такве заштите у животињском свету; с њима се сусрећемо на сваком кораку. Животиње које живе у пустини имају највећим делом карактеристичну жућкасту »боју пустине«; ту ћете боју наћи и код лава, и код птице, и код гуштера, и код паука, и код црва, — једном речи, код свих претставника пустинске фауне. Напротив, животињски свет снежних равница Севера — био то опасни поларни медвед или безазлена водена кокош — обдарила је природа белом бојом, која их чини неприметним на белој позадини. Лептирови и гусенице које живе на кори дрвећа имају одговарајућу боју, која са изненађујућом тачношћу репродукује боју коре дрвета (»калуђерица« и др.).

Сваки скупљач инсеката зна како је инсекте тешко наћи због њихове »заштитне боје« којом их је обдарила природа. Покушајте да ухватите зеленог цврчка који цврчи на ливади поред ваших нога, — нећете га моћи разазнати на зеленој подлози у којој се губи.

То исто важи и за водени свет. Морске животиње, које бораве у мрком воденом растињу, имају све »заштитну« мрку боју, која чини да их очи не могу да спазе. У зони црвеног растиња преовлађује црвена »заштитна боја«. Сребренаста боја рибље крљушти такође је заштитна боја. Она чува рибе и од птица грабљивица које их вребају одозго, и од грабљивица водене стихије, које им прете седздо: водена површина изгледа као огледало не само при гледању одозго, него још више при гледању сдоздо, из водене дубине (»пуно одбијање«); и са том блиставом металном позадином слива се сребрена рибља крљушта. А медузе и други прозидни становници вода — црви, ракови, мекушци, изабрали су као своју »заштитну боју« — потпуну безбојност и прозидност, што их чини невидљивим у безбојној и прозидној стихији која их окружава.

»Лукавства« природе у том погледу превазилазе далеко људску довитљивост. Моге животиње имају способност да промене нијансу своје »заштитне боје« према променама у околној природи. Сребрнастобели хермелин,

неприметан на снегу, изгубио би сва преимућства заштитне боје ако са топљењем снегова не би променио боју свога крзна; и тако свакога пролећа мала бела звер дођија нову бунду риђе боје, која се слива са бојом оголелог земљишта, а са наступањем зиме поново побели, облачи се у снежно зимско одело.

Вештачка заштитна боја

Људи су примили од довитљиве природе ту корисну вештину да своје тело учине неприметним, тако да се оно стапа са околном позадином. Шарене боје некадашњих блиставих униформа, због којих су слике битака биле тако живописне, заувек су отишле у прошлост: истиснула их је позната једнолична униформа заштитне боје. Сиви војнички шињел победио је везене мундире, — и на будућим бојним пољима неће се видети ниједна светла исага. Сиво-челична боја савремених ратних бродова такође је заштитна боја, која чини да се бродови слабо разазнају на морској позадини.

Овде спада и такозвана »тактичка камуфлажа«: ратно маскирање појединих предмета — утврђења, тоцова, тенкова, бродова, — вештачка магла, и сличне мере којима се противник доводи у заблуду. Јогор се маскира нарочитим мрежама у чије су рушице уплетени снопићи траве; борци облаче огртаче са прамењем рашичешљане лице, обојене као трава итд.

Широко се примењује заштитна боја и маскирање у савременој ратној авијацији. Један немачки технички часопис пише о томе следеће:

»Авион, обојен у мрку, тамнозелену и љубичасту боју (које одговарају бојама земљине површине), посматран одозго са авиона, тешко се може разликовати од земљине површине. А маскирање доњих површина авиона, које се посматрају са земље, врши се оним бојама које одговарају бојама неба: светло-плаво, светло-ружично и бело. Те се боје распореде по површини авиона у омањим негама. На висини од 750 м оне се сливају у јединствен слабо приметан тон. На висини од 3.000 м авioni, који

су на сличан начин маскирани, постају невидљиви. Транспорти бомби на које се врше напади у ноћно време, боје се црном бојом.«

Заштитна боја која би одговарала за све прилике била би површина у којој би се околина огледала као у огледалу. Предмет са таквом површином аутоматски добија изглед и боју околне средине; са већег растојања скоро је немогућно приметити његово присуство. Немци су у време првог светског рата применили тај принцип на цепелине: површина многих цепелина је била од блиставог алуминијума и у њој су се огледали небо и облаци. Веома је тешко приметити такав цепелин у лету — ако га не изда зујање мотора.

Тако се остварују у природи и у ратној техници ма-штања из народних прича о капи-невидимки.

Човечије око испод воде

Замислите да вам је дата могућност да останете под водом толико колико желите и да притом држите очи отворене. Да ли бисте тамо могли видети?

Кад је већ вода провидна, изгледа да ништа не би требало сметати да се под водом исто тако добро види као и у ваздуху.

Сетите се, ипак, слепоће »невидљивог човека«, који није у стању да види због тога што су индекси преламања његовог ока и ваздуха једнаки. Под водом се налазимо приближно под истим условима под којим се Велсов »Невидљиви човек« налази у ваздуху. Погледајмо бројеве, — и ствар ће постати јаснија. Индекс преламања воде је 1,34. А ево индекса преламања провидних делова човечијег ока:

Рожњаче и стакластог тела	1,34
Сочива	1,43
Водњикаве течности	1,34

Видите да је способност преламања светлосних зракова код сочива свега за $\frac{1}{10}$ јача него код воде, док је код осталих делова нашега ока иста као код воде. Због

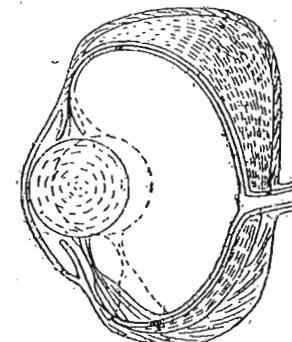
тога је фокус зракова који долазе у човечје око испод воде далеко иза мрежњаче, те према томе на самој мрежњачи слика мора бити нејасна и једва се може штогод у њој разазнати. Само веома кратковиди људи виде испод воде више или мање нормално.

Ако желите да очигледно представите како нам се морају оцртавати ствари под водом, — ставите наочари са јаким расипајућим стаклима (стакла у дубљем на-са обе стране); тада ће се фокус зрака који се преламају у оку одмакнути далеко иза мрежњаче и све што вас окружује појавиће се пред вама у нејасним магловитим сликама.

Да ли човек под водом може побољшати свој вид ако се послужи стаклима која јако преламају светлост?

Обична стакла која се употребљавају за наочари ту мало помажу: индекс преламања простега стакла је 1,5, тј. врло мало више него у води (1,34); такве ће наочари под водом преламати светлост врло слабо. Потребна су стакла нарочите врсте, која се одликују ванредно јаким преламањем (такозвани »тешки флинт-глас« има индекс преламања скоро 2). Са таквим бисмо наочарима могли видети под водом више или мање јасно. (О нарочитим наочарима за рониоце види даље).

Сада је разумљиво зашто код риба сочиво има ванредно испупчен облик; оно има облик кугле и код њега је индекс преламања највећи од свих које налазимо у очима животиња. Кад не би било тако, очи би биле скоро без користи за рибе, које живе у провидној средини са јаким преламањем светлости.



Сл. 113 Разрез кроз рибље око. Сочиво има облик кугле и не мења га при акомодацији. Уместо промене облика сочива, мења се његов положај у оку, као што је показано тачкастим линијама

Како виде гњурци?

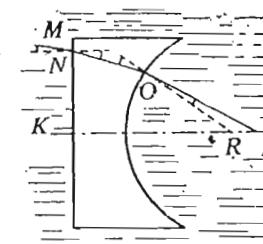
Многи ће, вероватно, упитати: па како могу да виде под водом гњурци који раде у својим скафандрима, кад наше очи у води окоро не преламају светлосне зраке? Гњурачки шлемови су снабдевени увек равним а не испупченим стаклима... Даље, да ли су могли путници Жил Верновог »Наутилуса« посматрати кроз прозор своје подморске кабине пределе подморског света?

Пред нама је ново питање, на које уосталом није тешко одговорити. Одговор ће постати јасан ако обратимо пажњу на то да вода, кад се налазимо у њој без гњурачког костима, непосредно додирује наше око, лок је у гњурачевом шлему (или у кабини »Наутилуса«) око одвојено од воде слојем ваздуха (и стакла). То битно мења целу ствар. Светлосни зраци, излазећи из воде и пролазећи кроз стакло, долазе најпре у ваздух и тек из њега продиру у око. Падајући из воде на равну — паралелно стакло, под којим било углом, зраци, по законима оптике, излазе из стакла не мењајући праваци; али даље, при прелазу из ваздуха у око, зраци се, наравно, преламају, — и око се, при таквим условима, понаша потпуно једнако као и на копну. У томе лежи решење нелогичности која нас је збунила. Најбоља илустрација за ово је то што сасвим добро видимо рибе које пливају у акваријуму.

Стаклена сочива под водом

Јесте ли покушавали да изведете овај једноставни експеримент: да потопите у воду стакло с обе стране испупчено (»увеличавајуће«) и да кроз њо посматрате затњурене предмете? Покушајте, — и зачудићете се: увеличавајуће стакло у води скоро не увеличава! Загњурите у воду »умањавајуће« (тј. с обе стране удубљено) стакло, — и показаће се да је и оно у знатној мери изгубило своје својство умањивања. Ако експеримент не извршите са водом, него са течношћу која има индекс преламања већи од стакла, онда би с обе стране испупчено стакло умањивало предмете, а удубљено би их повећавало.

Сетите се, међутим, закона преламања светлосних зрака, — и та вас чуда неће изненађивати својом необичношћу. Сочиво испупчено с обе стране повећава у ваздуху зато што стакло прелама светлост јаче од ваздуха који га окружава. Али није велика разлика између способности преламања коју имају стакло и вода: због тога, ако у воду ставите стаклено сочиво, светлосни зраци, прелазећи из воде у стакло, не скрећу много од свога правца. Зато увеличавајуће стакло знатно слабије увеличава испод воде него у ваздуху, а умањавајуће слабије умањује.



Сл. 114. Наочари за ронце састоје се од шунљивих, с једне стране удубљених, сочива. Зрак MN , преламајући се, иде по линији $MNOP$, при чему се, са унутрашње стране сочива, удаљује од перпендикуларе на угао упадања и приближује се к њој изван сочива (тј. приближује се према OP). Због тога сочиво делује као сабирно стакло

Монобромнафталин, на пример, прелама зраке јаче него стакло, — и због тога у тој технички »увеличавајућа« стакла умањују, а »умањујућа« повећавају. Тако делују испод воде и празна (тачније: ваздушна) сочива: удубљена повећавају, испупчена — умањују. Наочари за ронце претстављају баш таква шупља сочива (сл. 114).

Неискусни купачи

Неискусни купачи излажу се често великој опасности само због тога што заборављају на једну занимљиву последицу закона преламања светлости: они не знају да се услед преламања чини као да се подижу сви предмети у води изнад њиховог правог положаја. Дно басена, ре-

чице, сваког резервоара, изгледа оку као да је подигнута скоро за једну трећину дубине; ослањајући се на ту варљиву пличину људи често долазе у опасан положај. Нарочито је важно да то знају деца, и уопште људи омањег раста, за које грешка у одређивању дубине може бити кобна.

Узрок је томе — преламање светлосних зрака. Исти оптички закон, услед кога кашика напола замочена у воду изгледа као преломљена, условљава да се дно испод воде чини као издигнуто (сл. 115).

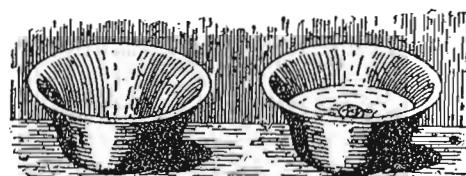
Ту појаву можете проверити код куће на столу.

Поставите друга за сто тако да не може видети дно шоље која се налази пред њим. На њено дно ставите новчић, који ће, разуме се, шоља закланјати од ока вашега друга. Тада замолите друга да не окреће главу, и наспите у шољу воде. Догодиће се нешто неочекивано: ваш ће гост угледати новчић! Уклоните воду из шоље помоћу сисаљке, — и дно са новчићем поново ће се спустити (сл. 116).



Сл. 115. Искривљена слика кашике која је до половине ватрурена у чашу с водом

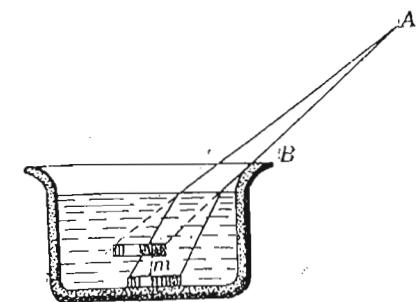
да не окреће главу, и наспите у шољу воде. Догодиће се нешто неочекивано: ваш ће гост угледати новчић! Уклоните воду из шоље помоћу сисаљке, — и дно са новчићем поново ће се спустити (сл. 116).



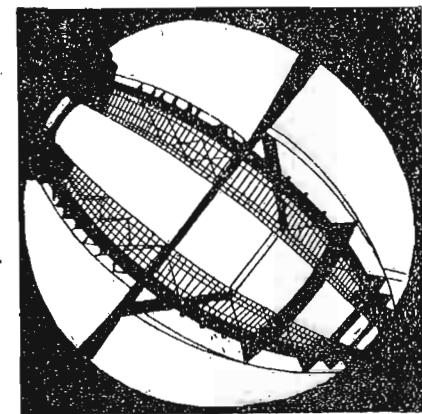
Сл. 116. Оглед са новчићем у шољи

и, прелазећи из воде у ваздух, долазе у око, као што је показано на слици; око види тај део дна у продужењу тих линија, тј. изнад т. Уколико зраци иду под великом нагибом, утолико се више издигне т. Ето због чега нам се увек чини када, на пример, посматрамо из чамца равното дно рибњака, да је оно најдубље право испод нас, а да је уоколо све плиће и плиће.

Дакле, дно рибњака изгледа нам удубљено. Ако бисмо, међутим, са речног дна могли да посматрамо мост који је изграђен преко реке, он би нам изгледао испупчен (као што је показано на сл. 118; о начину на који је та фотографија добијена биће говора доцније). У датом случају, зраци прелазе из средине слабог преламања (ваздуха) у средину јаког преламања (воду), и због тога се добија ефекат супротан ономе при преласку зрака из воде у ваздух. Из тога разлога, на пример, и низ људи који стоје око акваријума рибе не виде као прав ред, него као лук испупчен према њима. О томе како виде рибе, или тачније: како би они морале видети кад би имале човечје очи, ускоро ћемо проговорити детаљније.



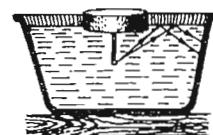
Сл. 117. Зашто у огледу показаном на сл. 116 изгледа да је новчић подигнут



Сл. 118. Овако види подводни посматрач железнички мост изнад реке (према фотографији проф. Вуда)

Невидљива чиода

Затакните чиоду у раван кружни од плута и ставите га на површину воде тако да чиода буде скренута доле. Ако чеп није сувише широк, ма како најпњали главу — нећете успети да видите чиоду, ма да је она, рекло би се, довољно дугачка да је чеп не заклони од вашег погледа (сл. 119).



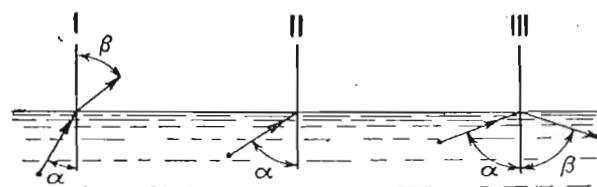
Сл. 119. Оглед са чиодом која се не види у води

Зашто светлосни зраци не допиру од чиоде до вашега ока? Зато што се са њима дешава оно што се у физици назива »пуно одбијање«.

Ево у чему се састоји та појава.

На сл. 120 може се пратити пут зрака које прелазе из воде у ваздух (уопште, из средине јачег преламања у средину мањег преламања) и обратно. Када зраци иду из ваздуха у воду, они се приближују »нормали упадања«; на пример, зрак који пада на воду затварајући са нормалом, повученом на раван упадања, угао β , улази у њу под углом α , који је мањи од β (сл. 120, I, где стрелице треба скренути у супротном правцу). А шта

задуха у воду, они се приближују »нормали упадања«; на пример, зрак који пада на воду затварајући са нормалом, повученом на раван упадања, угао β , улази у њу под углом α , који је мањи од β (сл. 120, I, где стрелице треба скренути у супротном правцу). А шта

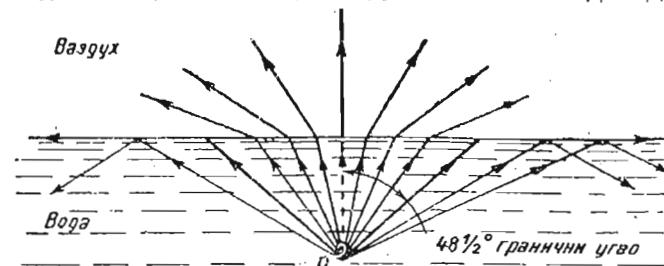


Сл. 120. Разни случајеви преламања зрака при прелазу из воде у ваздух. У случају који је показан на сл. II, када зрак пада под граничним углом на нормалу упадања, зрак излази из воде клизећи дуж њене површине. На цртежу III показан је случај потпуној одбијања

бива када зрак, клизећи по површини воде, пада на водену површину скоро под правим углом на нормалу? Он улази у воду под углом мањим од правога, и то под углом

од свега $48\frac{1}{2}$ степени. Под углом већим од $48\frac{1}{2}$ степени зрак не може да уђе у воду; то је за воду »гранични« угао. Потребно је разјаснити те једноставне односе, да би се даље разумеле потпуно неочекиване и ванредно занимљиве последице закона преламања.

Малочас смо сазнали да се зраци који падају на воду под разноврсним угловима сакупљају испод воде у прилично узак конус са углом растварања $48\frac{1}{2} + 48\frac{1}{2} = 97^\circ$. Посматрајмо сада пут зрака који иду супротним правцем — из воде у ваздух (сл. 121). По законима оптике, њихов пут ће бити исти као у претходном случају, и сви зраци из поменутог конуса са углом растварања од 97° изаћи ће у ваздух под разним угловима, расипајући се у целом простору од 180° изнад воде.

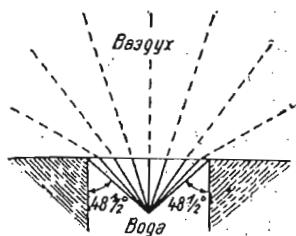


Сл. 121. Зраци који излазе из тачке P под углом на нормалу упадања, који је већи од граничног (за воду — $48\frac{1}{2}$ степени), не излазе из воде у ваздух, него се потпуно одбијају назад у воду

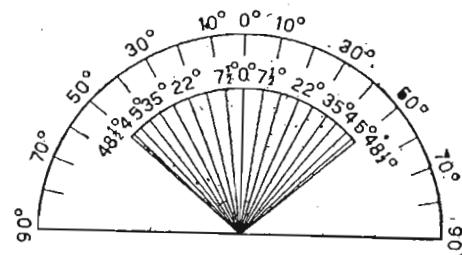
А шта ће бити од подводног зрака који се налази изван поменутог конуса? Показаће се да он уопште неће изићи испод воде, него ће се потпуно одбити од њене површине као од огледала. Уопште, сваки подводни зрак који налази на водену површину под углом већим од »граничног« (тј. већим од $48\frac{1}{2}$ степени), не прелама се, него се одбија: си трпи, како веле физичари, »пуно одбијање«.⁶⁹

⁶⁹ Одбијање се у датом случају назива пуним због тога што се овде одбијају сви зраци који на површину падају, док међутим чак и најбоље огледало (од углачаног магнезијума или сребра) одбија само један део зрака који на њега падају, а други део апсорбује. Вода се при таквим условима појављује као идејно огледало.

Кад би рибе проучавале физику, најважније поглавље оптике било би за њих учење о »пуном одбијању«, јер у њиховом подводном гледању оно игра првенствену улогу:



Сл. 122. Спољни свет се скапуља за подводног посматрача у конус под углом растварања од 97°



Сл. 123. Даље разјашњење слике 122: лук спољашњег света скраћује се за подводног посматрача од 180° на 97° ; скраћење је утолико јаче уколико се део лука налази даље од зенита (0°).

У вези са особеностима подводног виђења налази се ирло вероватно, и та чињеница да многе рибе имају сребрнасту боју. По мишљењу зоолога, та је боја резултат прилагођавања риба боји водене површине која се простира изнад њих: при гледању одоздо, водена површина, као што знамо, изгледа услед »пуног одбијања« као огледало; а на таквој позадини сребрнасто обојене рибе остају неприметне за водене грабљивице које их лове.

Свет испод воде

Многи и не помиšљају како би необично изгледао свет кад бисмо почели да га посматрамо испод воде: он би морао изгледати посматрачу промењен и искривљен утолико да се не би могао познати.

Замислите да сте загђурени у воду и да испод воденог прекривача гледате надводни свет. Облак који лебди на небу право изнад ваше главе, нимало не мења свој изглед: вертикални зрак се не прелама. Али сви остали предмети, чији зраци наилазе на водену површину под

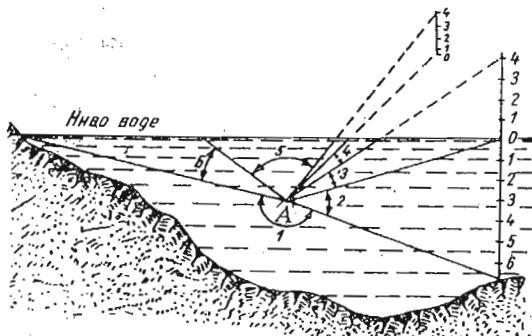
оштрим угловима, виде се искривљени: они као да се скраћују по висини — и то утолико јаче уколико је оштрији угао под којим водени зрак долази на водену површину. То је и разумљиво: сав свет који се види изнад воде мора се сместити у тесном подводном конусу; 180 степени се мора збити скоро упала — до 97 степени, и слике ће ћеминовно бити искривљене. Предмети од којих зраци долазе на водену површину под углом од 10 степени збијају се у води толико да се скоро не могу разазнати.

Али највише би вас изненадио изглед саме водене површине: она се испод воде уопште не види као равна, него у облику конуса! Чиниће вам се да се налазите на дну огромног левка чије су стране међусобно нагнуте под углом мало већим од правога (97 степени). Горњи крај тога конуса опточен је дугим прстеном од црвене, жуте, зелене, плаве и љубичасте врпце. Зашто? Бело сунчано светло састоји се од разних боја; свака боја има свој индекс преламања, па према томе и свој »гранични угао«. Услед тога се дешава да се при грејању испод воде предмет чини окружен шареним ореолом од дугих боја.

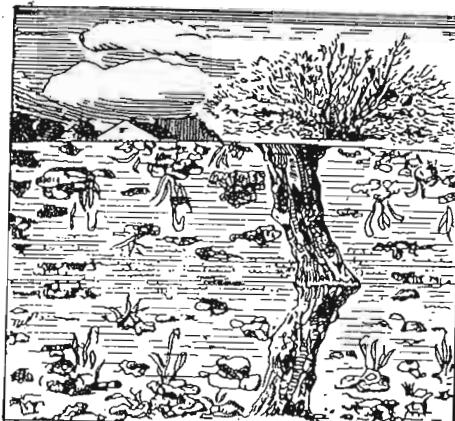
Шта се види даље ван граница тога конуса, који у себи садржи надводни свет? Тамо се простира блистава површина воде у којој се, као у огледалу, одражавају подводни предмети.

Потпуно необичан изглед добили би за подводног посматрача предмети који су једним делом загђурени у воду, а другим делом излазе из ње. Нека је у реку загђурена водомерна летва (сл. 124). Шта ће видети посматрач који се налази испод воде у тачки А? Поделимо на делове простор који он посматра — 360 степени — и позабавимо се сваким делом одвојено. У делу угла 1, он ће видети речно дно, — ако је оно, наравно, довољно осветљено. У углу 2 видеће подводни део летве без искривљења. У углу 3 видеће слику истог дела летве у изврнутом положају, тј. ону половину летве која је загђурена у воду (сётите се шта је речено о »пуном одбијању«).

Изнад тога ће подводни посматрач видети део летве који излази изван воде —, али се тај део неће видети као продолжење подводног дела, него ће бити помакнут знатно.



Сл. 124. Како види напола загњурену водомерну летву подводни посматрач чије се око налази у А: У углу 2 види се, у магловитим обрисима, у воду потонујени део летве. У углу 3 — њен одраз о унутрашњу површину воде. Још више, види се део летве изнад воде у скраћењу и уз то одвојен од њеног осталог дела. У углу 4 — огледа се дно. У углу 5 види се сав надводни свет у облику конуса. У углу 6 види се слика дна која се одражава о доњу површину воде. У углу 1 — нејасна слика дна

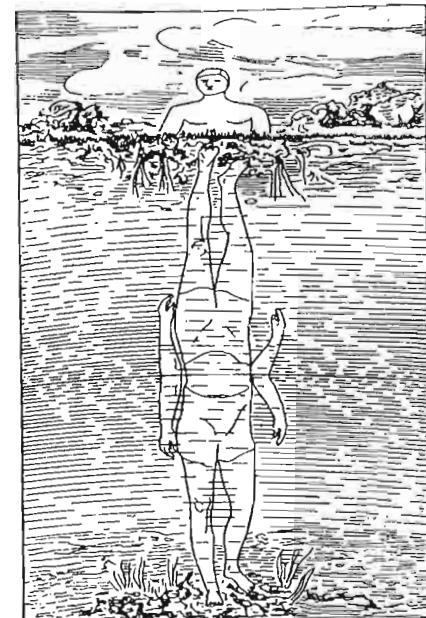


Сл. 125. Како се види поплављено дрво испод воде (упореди са сл. 124)

навише, одвајајући се потпуно од дела летве у води. Разуме се да посматрачу неће ни пасти на памет да та лебдећа летва чини продолжење прве! Уз то, летва ће изгледати јако скраћена, нарочито у доњем делу, — ту ће скала на летви бити знатно збијена. Дрво на обали које је поплавила вода видеће се испод воде као што је показано на сл. 125.

А кад би се наместо летве налазио човек, он би се испод воде видео као што је показано на сл. 126. У таквом изгледу виде рибе купача! Идући по плитком дну, ми се у њиховим очима раздвајамо на два дела и претварамо у два бића: горње, без ногу, — доње: без главе, са четири ноге! Када се удаљујемо од подводног посматрача, горња се половина нашег тела све више сабија и на извесном растојању ишчезава скоро цели надводни труп, — састаје само глава која лебди...

Могу ли се непосредно, на експерименту, проверити ови необични закључци? Кад ронимо испод воде, видимо веома мало, чак и кад се привикнемо да држимо непрестано створене очи. Прво, водена површина не стиже да се умири за оно мало секунда које можемо да проведемо испод воде, и тешко се може, кроз устала сану површину, нешто разазнати. Друго, — као што смо већ раније објаснили, — преламање воде мало се разликује од преламања првидних делова нашега ока, и на мрежијачи се добија због тога веома нејасна слика; околни предмети ће изгледати нејасни, расплинути (стр. 229). Посматрање из гњурачког звона, из шлема, или кроз стаклени прозорчић подморнице, takoђе не би могло дати жељене резултате. У тим се случајевима, — као што смо такође већ објаснили, — посматрач не налази, иако је под већом, у условима »подводног гледања«: светлосни



Сл. 126. Како подводни посматрач види купача који је до груди ушао у воду (упореди са сл. 124)

зраци, у тим случајевима, пре него што уђу у око, поново долазе у ваздушну средину и, према томе, поново трпе супротно преламање; при томе се или успоставља ранији правац зрака или добија нови правац, али у сваком случају не онај који је имао у води. Ето зашто посматрања кроз стаклене прозоре подводних просторија не могу дати правилну претставу о условима »подводног гледања«. Међутим, не морамо бити лично под водом да бисмо видели како изгледа свет испод ње. Услови подводногвиђења могу се изучавати помоћу нарочите фотографске камере, која је изнутра напуњена водом. Уместо објектива употребљава се притом метална плочица на којој је направљена рупица. Ако је цели простор између отвора и фотографске плоче испуњен водом, онда је разумљиво да се на плочи спољни свет мора отсликati у оном облику у каквом га види подводни посматрач. Тај је начин применио савремени амерички физичар професор Буд и добио је ванредно интересантне фотографије, од којих смо једну репродуктовали на сл. 118. Што се тиче разлога због кога подводни посматрач види предмете изнад воде у искривљеним облицима (праве линије железничког моста изишле су на Будовој фотографији савијене у лук), ми смо већ о њему говорили када смо објашњавали зашто равно дно рибњака изгледа као да је удубљено (стр. 233).

Постоји други начин да непосредно сазнамо како изгледа свет подводним посматрачима: ако се у воду мирнога рибњака стави огледало и ако му се да одговарајући нагиб, у њему ће се видети подводна слика предмета изнад воде.

Резултати таквих посматрања потврђују у свима појединостима теориска разматрања која су горе изложена.

Дакле, провидни слој воде између ока и предмета изван тога слоја искривају једну слику надводног света и даје му фантастичан изглед. Биће које би се после живота на копну нашло у води, не би препознalo свет у коме је живело, — тако би се он изменио кад би био посматран из дубина провидне водене стихије.

Боје у воденим дубинама

Промену светлосних тонова испод воде скровито описује амерички биолог Бијб, о чијем смо спуштању у морску дубину, у челичној кугли »батисфери«, већ говорили (стр. 112):

»Спустили смо се у воду, и изненадни прелаз из златно-жутога света у зелени био је неочекиван. Пошто су пена и мехури нестали са прозора, облила нас је зелена светлост; наша лица, балони, чак и црни зидови, све је било њом обојено. Међутим, са палубе је изгледало као да се спуштамо у тамни ултрамарин.

»У почетку спуштања у воду очи су биле лишене топлих⁷⁰ (тј. црвених и наранчастих) зрака спектра. Црвена и наранчаста боја као да нису никада ни постојале, а ускоро је зелена боја надјачала и жуте тонове. Ма да радосни топли зраци претстављају само мањи део видљивог спектра, ипак, када они ишчезну на дубини од 30 или више метара, остаје само студен, мрак и смрт.

»Уколико смо се даље спуштали, ишчезавали су постепено и зелени тонови; на дубини од 60 метара није се више могло рећи да ли је вода била зелено-плава или плаво-зелена.

»На дубини од 180 метара све је изгледало обојено густим, сјајним плавим светлом. Оно је било тако слабо да је постало немогућно писати и читати.

»На дубини од 300 метара покушао сам да одредим боју воде — црно-плава, тамно-сиво-плава. Чудно је да љубичаста боја, последња у видљивом спектру, не замењује плаву боју када ова ишчезне. Јубичаста је очевидно већ апсорбована. Последњи тон плавога прелази у неодређено сиву боју, а сива даље у црну. Почеквши од те границе, сунце је побеђено и боје су прогнане заувек, док ту не продре човек и не осветли електричним светлом оно што је у току две милијарде година било апсолутно црно.«

⁷⁰ Овде је реч »топли« употребљена у оном смислу у коме је употребљавају уметници када карактеризују боје; »топлим« бојама они називају црвену и наранчасту, за разлику од »хладних« — плаве и сиве.

О помрчини на великој дубини исти истраживач пише на другом месту следеће:

»Помрчина на дубини од 750 метара изгледала је црња него што се може замислити, — па ипак је сада (на дубини од око 1000 метара) она изгледала црња од црнога. Чинило се да ће се у будућности све ноћи у горњем свету сматрати само релативни степени сумрака. И никад више нисам могао употребити реч »црн« са чврстим убеђењем.«⁷¹

Слепа пега у нашем оку

Ако вам кажу да се у пољу вашега вида налази један делић који ви апсолутно не видите, ма да се налази право испред вас, ви у то, наравно, нећете поверсвати. Је ли могућно да ми целога живота не приметимо тако крупан недостатак свога вида? А међутим, ево једноставног огледа који вас може у то уверити.

Држите слику 127 на растојању од 20 центиметара од деснога ока (затворите лево) и гледајте крстич који се налази лево; полако приближујте слику оку: неминовно

ће наступити моменат када ће велика црна пега, на месту укрштања оба круга, без трага ишчезнути! Нећете је видети, ма да ће она остати у границама видног поља, а оба ће се круга десно и лево од ње јасно видети.

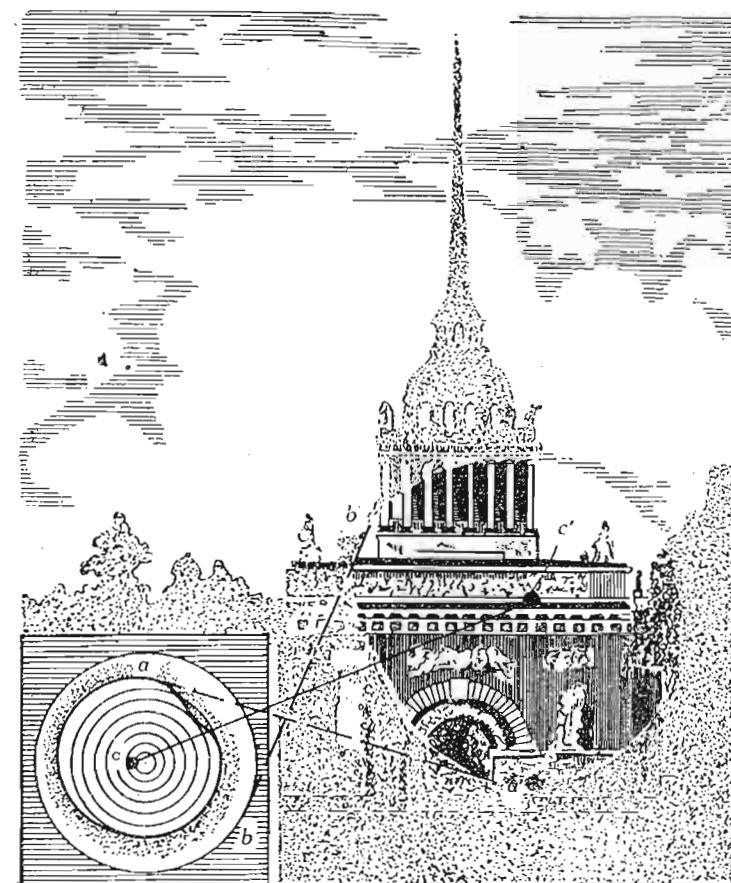
Сл. 127. Слика која приказује слепу пегу

поља, а оба ће се круга десно и лево од ње јасно видети.

Тај оглед, који је први пут извршио 1668. г. (у нешто друкчијем виду) чувени физичар Мариот, веома је забављао двор Луја XIV. Маријст је вршио оглед овако: поставио би двојицу великаша на растојању од 2 метра једног

⁷¹ Детаљније о бојама у морским дубинама види у књизи академика Шуљејкина: »Физика мора«.

према другоме и предложио би им да гледају једним оком неку тачку са стране, — тада би се свакоме од њих чирило да онај према њему нема главе.



Сл. 128. Када гледамо зграду једним оком, делић C у видном пољу, који у оку одговара слепој пеги (C), уопште не видимо

Ма како то било чудно, људи су тек у XVII веку сазнали да на мрежњачи њиховог ока постоји »слепа пега«, о којој нико раније није ни мислио. То је оно место мре-

Жњаче на коме видни живац улази у очну јабуку и још се не дели на мале огранке који су снабдевени елемен-тима осетљивим на светлост.

Ми не примећујемо црну тачку у нашем видном пољу услед дуговремене навике. Уобразила нехотице попуњава ту празнину околним детаљима: тако на сл. 127 не видимо пегу, али у мислима продужавамо линије кругова и уверени смо да јасно видимо место на коме се они пре-сецају.

Ако носите наочари, можете извршити овакав експе-римент: залепите комадић хартије на стакло од наочара (не у самој средини, него са стране). Првих дана ће вам хартијица сметати да гледате, али ћете се за недељу-две тако привикнути на њу да ћете чак престати да је при-мећујете. Уосталом, то добро зна сваки који је носио наочари са пукнутим стаклом: пукотина се примећивала само првих дана. Исто тако, услед дуговремене навике, не примећујемо слепу пегу нашега ока. Осим тога, обе слепе пеге сдговарају разним местима видног поља све-кога ока, тако да при гледању са оба ока нема празнице у њиховом заједничком пољу вида.

Не мислите да је слепа пега у нашем видном пољу незната; ако гледате (једним оком) кућу на даљини од 10 м, нећете видети, због слепе пеге, прилично велики део њене фасаде, који ће имати у пречнику више од једнога метра; у ту, пегу може да стане цео прозор. А на небу састаје невидљив простор чија површина износи колико стодвадесет површина пунога месеца!

Колика нам изгледа површина Месеца?

Да кажемо нешто и о величини Месеца — како је ми видимо. Ако почнете да распитујете познанике о томе у којој величини они виде Месец, добићете најразновр-сније одговоре. Већина ће их казати да је Месец велик као тањир, али ће бити и таквих којима он изгледа као тањирић за слатко, као вишња, као јабука. Једноме се ђаку Месец увек чинио »велик као округли сто за два-наест особа«. А један савремени књижевник тврди да је на небу био »Месец са пречником од аршина«.

Откуда тајва разлика у претставама о величини јед-ног истог предмета?

Она зависи од разлике у оцени растојања, оцени која је увек несвесна. Човек који види Месец велик као јабуку, замишља га на растојању знатно мањем него они људи којима он изгледа велик као тањир или као округли сто.

Већини људи, уосталом, Месец се чини велик као та-њир. Одатле се може извести интересантан закључак. Ако се израчуна (начин рачуна биће јасан из даљег излагања) на које растојање мора бити одмакнут Месец да би имао те виђне размере, испоставиће се да та раздаљина не прелази 30 м. Ето на какво скромно растојање ми несве-сно стављамо то небеско тело!

На погрешној оцени растојања заснива се много оптичких обмана. Добро се сећам оптичке обмане коју сам доживео у раном детињству, »када су ми били нови сви животни утисци«. Рођен у граду, видео сам једнога про-лећа, за време шетње ван града, први пут у животу стадо крава које су пасле на ливади. Како сам неправилно оце-нио растојање, те су ми се краве учиниле као патуљци! Такве сићушне краве отада нисам никад видео и, на-равно, нећу никада ни видети.⁷²

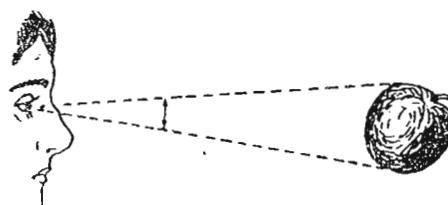
Видне размере небеских тела астрономи одређују ве-тичином угла под којим их ми видимо. »Угаоном вели-чином« или »видним углом« називају они угао који затварају две праве повучене од крајњих тачака посматраног тела до ока (сл. 129). А углови се, као што је познато, мере степенима, минутама и секундама. На питање о вид-ној размери месечевог круга, астрономи неће рећи да је тај круг велик као јабука или тањир, него ће одговорити да он износи половину степена; то значи да праве линије,

⁷² Уосталом, и одрасли понекад подлежу сличној илузији. О томе сведочи следећи одломак из Григоровићеве притоветке »Орач«:

»Околина се појавила као на длану; дрвеће је изгледало као да је поред самога моста; кућа, брег и брезова шумица изгледали су као да су били сасвим уз село. Све то — и кућа, и врт, и село — добило је тада изглед оних играчака на којима стабљике маховине претстајају дрвеће, а комадићи огледала речицу.«

повучене од крајева месечевог круга до нашега ока, затварају угао од пола степена. Такво је одређивање видних размера једино правилно, али изазива неспоразуме.

Геометрија учи⁷³ да се предмет, удаљен од ока на растојању које је 57 пута веће од његовог пречника, види под углом од 1 степени. На пример, јабука са дијаметром од 5 цм имаће угаону величину од једног степена, ако се држи од очију далеко 5×57 цм. На растојању два пута већем, она ће се видети под углом од $\frac{1}{2}$ степена, тј. у оној величини у којој видимо Месец. Ако баш хоћете, можете рећи да вам Месец изгледа велик као јабука, — али под условом да је та јабука удаљена од очију 570 цм (око 6 м). Ако желите да упоредите са тањиром величину у којој видите Месец, морате тањир одmakнути на 30 метара. Већина људи не верује да Месец изгледа тако мали; али покушајте да наместите новчић од 10 копјејки на таквом растојању од ока које је 114 пута веће од пречника новчића, и новчић ће заклонити Месец, ма да је два метра далеко од ока.



Сл. 129. Видни угао

према томе колико је удаљен од ока. Али задатак постаје одређен ако се зауставимо на растојању на коме обично држимо књиге, цртеже итд., — тј. на растојању најбољег вида. Оно износи за нормално око 25 цм.

Израчунајмо сада, које величине мора бити кружић, рецимо на страници ове књиге, да би његова видна размера била једнака видној размери Месечевог круга. Ра-

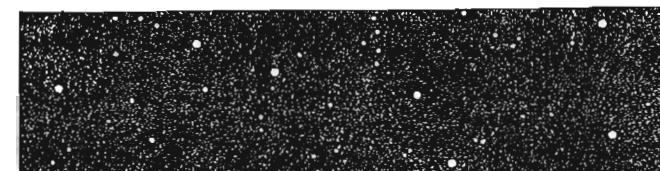
⁷³ Читалац кога заинтересују геометријска рачунања у вези са видним углом, наћи ће објашњења и примере у мојој књизи «Занимљива геометрија».

чуј је једноставан: треба поделити растојање од 25 цм на 114. Добићемо незнатну величину — једва нешто више од 2 мм! Приближно исте величине као слово »о« штампарског слога ове књиге. Човек чисто не верује да Месец видимо, — а такође и Сунце, које је по видном размери једнако с њим — под тако малим углом!

Приметили сте, вероватно, да у вашем видном пољу, пошто сте гледали у Сунце, дugo времена после тога трепереле шарени кружнићи. Ти такозвани »оптички трагови« имају исту угаону величину као и сунце. Али се њихове привидне величине мењају: када гледате на небо, сне су велике као сунчев круг, када баците поглед на књигу која лежи пред вами, сунчев »траг« покрива на страници кружни простор са пречником око 2 мм, потврђујући очигледно правилност нашега рачуна.

Видне размере звезда

Кад бисмо, држећи се тога размера, зажелели да на хартији прикажемо сазвежђе Великог Медведа, добили бисмо фигуру која је приказана на сл. 130. Гледајући је са растојања најбољег виђења, ми видимо сазвежђе онако како нам се оно појављује на небеском своду. То је, такође, карта Великог Медведа у приредном угаоном размеру. Ако вам је добро познат видни утисак тога сазвежђа, — не само фигура, него баш непосредни видни



Сл. 130. Сазвежђе Великог Медведа у природној угаоној размери.
Слику треба држати 25 цм далеко од ока

утисак, — онда ћете, ако се загледате у приложену слику, поново преживети тај утисак. Ако знате угаону растојања међу главним звездама свих сазвежђа (она се

наводе у астрономским календарима и сличним информативним издањима), можете нацртати у »природној размери« цели астрономски атлас. За то је довољно снабдети се милиметарском хартијом и рачунати на њој свака $4\frac{1}{2}$ mm за један степен (површине кружића који приказују звезде треба претати пропорционално њиховом сјају).

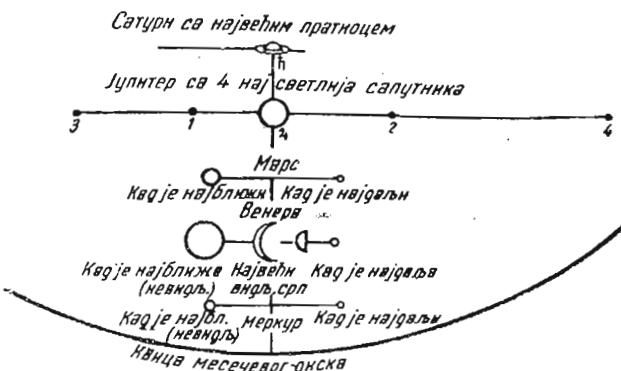
Осврнимо се сада на планете. Њихове су видне размере, као и код звезда, тако мале да се простом оку чине као сјајне тачке. То је и разумљиво, пошто ниједну планету (изузимајући Венеру у време њеног највећег сјаја), не види просто око под углом већим од једне минуте, тј. у оној граничној величини која је потребна да бисмо могли разликовати предмет као тело које има величину (под мањим углом изгледа нам сваки предмет као тачка без контура).

Ево величине разних планета у угаоним секундама; код сваке планете су показане две цифре, — прва одговара њеном најмањем растојању од Земље, а друга највећем:

	секунде
Меркур	13—5
Венера	64—10
Марс	25— $3\frac{1}{2}$
Јупитер	50—31
Сатурн	20—15
Сатурнови прстенови .	48—35

Те величине није могућно нацртати на хартији у »природној размери«: чак цела угаона минута, тј. 60 секунди, одговара, на растојању најбољег виђења, величини од свега 0,04 mm, коју просто око не разазнаје. Претставимо, због тога, кругове планета онако како се они виде у телескопу који повећава 100 пута. На слици 131, пред вами је таблица видних размера планета при таквом повећању. Доњи лук претставља крај Месечевог (или Сунчевог) круга, посматраног на телескоп са повећањем од 100 пута. Изнад њега је Меркур при његовој најмањој удаљености од Земље. Још више је Венера у разним фазама; у положају кад је најближа Земљи, та се планета уопште не види, јер је окренута према нама својом не-

осветљеном половином.⁷⁴ Затим постаје видљив њен уски срп, — то је највећи од свих планетских дискоса; у даљим фазама Венера се стално смањује, и њен пун круг има пречник 6 пута мањи од њеног уског српа.



Сл. 131. Ако се овај цртеж држи 25 cm далеко од ока, онда на њему нацртане планете видимо у истим размерама у којима их видимо на телескоп који повећава 100 пута

Изнад Венере је Марс. Са леве стране видите га кад је најближе Земљи; тако нам га показује телескоп са повећањем од 100 пута. Шта може да се види на том малом кружићу? Замислите тај кружић повећан 10 пута, и добићете претставу о томе шта види астроном који изучава Марс кроз најјачи телескоп са повећањем од 1.000 пута. Зар је могућно на тако уском простору са сигурношћу приметити такве фине детаље као што су чувени »канали«, или приметити лаку измену боје која би тобоже била у вези са вегетацијом на дну »океана« тога света? Није чудо што се сведочанства једних посматрача битно разликују од исказа других, и што једни сматрају оптичким обманом оно што су други тобоже јасно видели...

Циновски Јупитер, са својим сапутницима, заузима веома видно место у нашој табелици: његов је круг знатно

⁷⁴ Оно се може видети у том положају само у оним веома ретким тренуцима када се пројцира на сунчев круг у виду црног кружића (такозвани »Венерин пролазак«).

већи од круга других планета (искључујући Венерин срп), а његова четири главна сапутника размештена су на линiji која износи скоро половину Месечевог круга. Ту је Јупитер показан кад је најближе Земљи. Најзад, Сатурн са прстеновима и са највећим од његових месеца (Титаном) претставља такође доволно приметан објекат у време кад је најближи Земљи.

Читаоцу је, после овога, јасно да нам сваки предмет изгледа утолико мањи уколико га ближе себи претстављамо. И обратно: ако због било чега преувеличавамо разстојање до предмета, чиниће нам се и сам предмет већи у одговарајућим размерама.

Овде доносимо поучну причу Едгара Поа у којој се описује баш таква оптичка обмана. И поред тога што изтледа невероватна, она уопште није фантастична. Један пут сам био и сам жртва скоро исте такве обмане, — а и многи се наши читаоци, вероватно, сећају сличних случајева из властитог живота.

Сфинкс

Прича Едгара Поа⁷⁵

У време када је срашна колера владала у Њујорку, позвао ме један од мојих рођака да прсведем две недеље у његовом усамљеном летњиковцу. Провели бисмо време веома пријатно да није било ужасних вести које смо свакодневно добијали из града. Није било дана који нам не би донео вести о смрти неког познаника. Са страхом смо очекивали новине. Чинило нам се да је и сами јужни ветар био засићен смрћу. Та ледена мисао завладала је потпуно мојом душом. Мој домаћин је био човек мирнијег темперамента и трудио се да ме охрабри.

У сумрак једног топлог дана седео сам, са књигом у руци, поред отвореног презора, са кога се видео удаљени брег иза реке. Мисли су ми се већ давно одвојиле од књиге и прешле на јад и очајање које је владало у суседном

⁷⁵ По руском преводу М. А. Енгелхарта. У тексту су изостављена места која нису од битног значаја.

граду. Подигао сам очи и случајно погледао на голу падину брега, и угледао сам — нешто страховито: неко однратно чудовиште спустило се брзо са врха брега и ишчезло је у шуми у његовом подножју. У први мах, кад сам угледао чудовиште, посумњао сам у свој здрав разум, или бар у своје очи, и тек после неколико минута уверио сам се да не сањам. Али када опишао то чудовиште (које сам видео потпуно јасно и које сам пратио погледом цело време док се спуштало с брега), моји читаоци, вероватно, неће баш лако поверовати у то.



Сл. 132. »... Чудовиште се спуштало са врха брега«

Одређујући разmere тога бића у сравњењу са огромним дрвеним, уверио сам се да је оно веће од сваке ратне лађе. Велим ратне лађе, јер је облик чудовишта потсећао на лађу: труп брода са 74 тоне може дати доволно јасну претставу о његовим контурама. Чељуст се код животиње налазила на крају сурле дугачке шездесет до седамдесет стопа и приближно исте дебљине као што је труп обичног слона. На дну сурле налазила се густа маса чупавих длака, а из њих су избијала, повијајући се доле и устрани, два сјајна очњака, слична очњацима дивљега вепра, само неупоредиво већих размера. Са обе стране сурле сместила се два циновска равна рога, дугачка тридесет

до четрдесет стопа, која су изгледала као од кристала; на сунцу су заслепљујуће отсјајивала. Труп је имао облик ктина чији је врх био окренут земљи. Имао је два пара крила, — свако је било дугачко око 300 стопа, — крила су се налазила једна изнад других. Била су покривена металним плочицама; свака је имала десет до дванаест стола у пречнику. Али је главну ссобеност тога страшног бића представљала слика мртвачке главе, која је заузимала скоро целу површину груди; она се оштро издавала на тамној површини својом светлом белом бојом.

Док сам са осећањем ужаса гледао ту страшну животињу, нарочито злеслутну слику на њеним грудима, она је изненада отворила чељуст и гласно јаукнула... Моји нерви нису издржали, и када је чудовиште ишчезло у шуми, у подножју брега, ја сам се без свести свалио на под...

Кад сам се освестио, испричао сам одмах своме пријатељу о томе шта сам видео. Пошто ме је саслушао до краја, он се у почетку грохотом смејао, а затим је задобио веома озбиљан изглед, као да није нимало сумњао у то да сам полуdeo.

У том часу поново сам видео чудовиште и с криком сам га показао своме пријатељу. Он је погледао, али ме је уверавао да ништа не види, ма да сам му детаљно описивао положај животиње, док се она спуштала са брега.

Покрио сам лице рукама. Кад сам их скинуо, чудовиште је већ било ишчезло.

Мој домаћин је почeo да ме испитује о спољњем изгледу тога чудовишта. Кад сам му све детаљно испричао, он је одмахнуо као да се избавио неког неподношљивог терета. — Пришао је ормару са књигама и извадио уџбеник из природописа. А затим, пошто ми је предложио да изменјамо места, јер му је поред прозора било лакше да чита ситна слова књиге, он је сео на столицу, отворио уџбеник и рекао:

— Да ми нисте тако детаљно описали то чудовиште, не бих вам вероватно никад могао објаснити шта је то било. Пре свега, дозволите да вам прочитам из овога.

уџбеника опис врсте *Sphinx* из породице *Crepusculariae* (сумрачњаци) реда Lepidoptera (лептирови) класе Insecta, тј. инсеката. Ево га:

»Два пара опнастих крила, покривених малим шареним крљуштима металног сјаја, уста која су се формирала из продужених доњих чељусти; са страна издани длачавих пипака; доња крила везана са горњим чврстим длачицама; пипци у виду изданака у облику призме; трбушчић зашиљен. Сфинкс Мртвачка Глава појављује се понекад као предмет сујеверног страха код простог народа, због жалосног звука који он испушта и слике лобање на његовим грудима.«⁷⁶

Тада је мој пријатељ затворио књигу и нагнуо се према прозору у истој пози у којој сам седео кад сам видео чудовиште.

— Аха, ево га! — усклику ју си, — оно се диже уз падину брега и, признајем, изгледа веома чудно. Али оно уопште није тако велико ни тако далеко као што сте ви уобразили, јер се пење по нити коју је уз наш прозор причврстио неки паук!

Зашто микроскоп повећава?

»Зато што мења пут зрака на одређени начин, који је описан у уџбеницима физике«, — ето шта се најчешће чује на горње питање. Али, у таквом се одговору указује само на даљи узрок, док се сама суштина ствари не додирује. У чему је основни разлог због кога микроскоп и телескоп повећавају? Ја га нисам сазнао из уџбеника, него случајно, када сам као ученик приметио једанпут ванредно интересантну појаву, која ме силно зачудила. Седео сам поред затвореног прозора и гледао зид од ци-

⁷⁶ Сада се тај лептир ставља у ред *Acherontia*. То је један од ретких лептирова који су способни да пуштају звуке — пиштање које потсећа на мишју писку, — а једини који производи звуке помоћу уста. Његов је глас прилично звучан; може се чути на више метара. У датом случају он се могао учинити посматрачу нарочито звучан, јер је извор звука био у мислима пренесен на веома далеко растојање (види »Занимљиву физику«, књ. I, гл. X, »Обман слуха«).

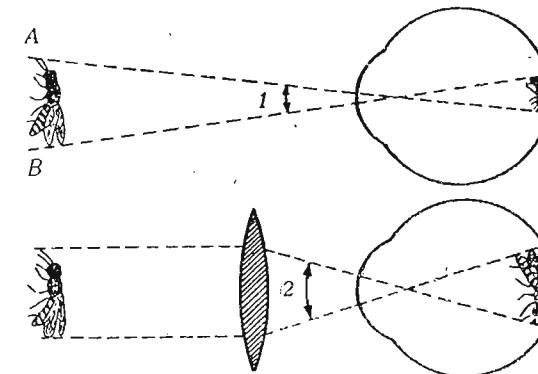
гала на кући која се налазила с друге стране ускога со-
кака. Наједном сам ужаснут уступкнуо: са зида је — видео-
сам јасно — гледало на мене циновско људско око, ши-
роко неколико метара... У то време још нисам био про-
читао малочас наведену причу Едгара Поа и нисам одмах
схватио да је циновско око била слика муга сопственог
ока у прозорском стаклу, слика коју сам пројцирао на
зид куће преко пута и због тога се видела у одговарају-
ћем повећању.

Пошто сам се досетио у чему је ствар, — почeo сам да
размишљам о томе како би се направио микроскоп за-
снован на тој оптичкој обмани. И баш тада када сам
претрпео неуспех постало ми је јасно у чему је суштина
увеличавајућег дејства микроскопа: није уопште у томе
што нам посматрани предмет изгледа већих размера, него
у томе што га посматрамо под већим видним
углом, па према томе — а то је најважније — слика
предмета заузимље више места на мрежњачи
нашега ока.

Да бисмо разумели зашто је од тако битне важности
видни угао, морамо обратити пажњу на значајну особе-
ност нашега ока: сваки предмет, или сваки његов део,
који видимо под углом мањим од угаоне минуте, слива
се на нормални вид у тачку у којој не разликујемо ни
облика ни делова. Када је предмет тако далеко од ока —
или је сам од себе тако мали — да га целог, или поједине
његове делове, гледамо под видним углом мањим од 1°,
ми престајемо да разликујемо у њему појединости ње-
говог састава. Ово се дешава због тога што при таквом
видном углу слика предмета на дну ока (или слика неког
дела предмета) не захватава више нервних завршетака у
мрежњачи одједампут, него пада у целини на један осе-
ћајни елемент: појединости облика и састава тада ишче-
завају, — и ми видимо тачку.

Улога микроскопа и телескопа састоји се у томе што
нам сни, мењајући пут зрака од посматраног предмета
до ока, показују предмет под већим видним углом; слика
се на мрежњачи повећава, захватава више нервних завр-
шетака, и ми разликујемо на предмету и такве детаље
који су се раније сливали у тачку. »Микроскоп или теле-

скоп повећавају 100 пута«, — то значи да нам они пока-
зују предмет под видним углом 100 пута већим него што-
га видимо без инструмента. Ако оптички инструмент не
повоћава видни угао, онда он не даје никакво по-
већање, макар нам се и чинило да предмет
видимо повећан. На зиду сд цигала око ми се
учинило огромно, — али ја на њему нисам видео ни-
једног једног детаља више него што видимо
кад око гледамо у огледалу. Месец који се налази ниско
на хоризонту изгледа нам знатно већи него кад је ви-
соко на небу, — али зар на тсме повећаном Месечевом
кругу примећујемо макар и једну једину пегу коју не
бисмо разазнавали кад Месец стоји високо?



Сл. 133. Сочиво повећава слику на мрежњачи ока

Ако се осврнемо на случај увељчавања, који је Едгар
По описао у приповеци »Сфинкс«, уверићемо се да и ту
на увељчаном предмету нису биле запажене никакве
нове појединости. Видни угао је остао непромењен, лептир
се види под једним истим углом, па било да га проји-
цирајмо далеко у шуму, или близу у равни прозорског
оквира. А ако се не мења видни угао, повећање пред-
мета, ма како оно изненађивало вашу уобразиљу, не
открива посматрачу ни једног новог детаља. Као прави
уметник, Едгар По је остао веран природи чак и у тој
страни своје приче. Јесте ли приметили како си описује

»чудовиште« у шуми: Преглед појединих делова инсекта не садржи ни једне нове црте у сравњењу са оним како се види »мртваčка глава« при посматрању простим оком. Упоредите оба описа, — они су намерно дати у причи, — и ви ћете се уверити да се они разликују само у начину изражавања (плочице од 10 стопа — крљушти, гигантски рогови — тилици; вепрови зуби — пипци итд.), али никаквих нових појединости које се не виде простим оком нема у првом опису.

Кад би се дејство микроскопа састојало само у таквом повећавању, он би био некористан за науку, претворио би се само у интересатну играчку и ништа више. Али ми зnamо да то са микроскопом није случај и да је микроскоп открио човеку нови свет, проширивши границе нашег природногвиђења:

Ма да нас је оптим видом природа обдарила,
Сасвим је близу граница његове снаге.
Како је много ствари до којих он не долира,
А које њихов мали раст од нас скрива!

писао је наш први природњак Ломоносов у »Писму о ко-
рисности стакла«. Али »у нашим вековима« микроскоп
нам је открио састав најмањих невидљивих бића:

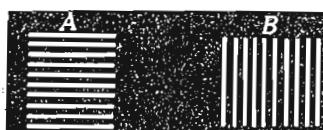
Како су ситни удови њихози, зглобови, срце, жиле
И нерви што чувају у себи животне сile!
Ништа нас мање не чуди на пучини тешки кит
Него грађом делова својих мали прв...
Како нам је микроскоп много открио тајна
Невидљивих делова и финих у телу жила!

Сад можемо јасно одговорити на то зашто нам микроскоп открива »тајну« коју на свом лептиру-чудовишту није видео посматрач из приче Едгара Поа: зато што нам микроскоп — да изведемо закључак из онога што је речено — не претставља просто предмете у увеличаном виду, него их показује под већим видним углом; услед тога се на задњем зиду ока оцртава повећана слика предмета, која делује на већи број нервних завршетака и тиме предаје нашој свести већи број појединих видних утисака. Кратко речено: микроскоп не повећава предмете, него њихову слику на дну ока.

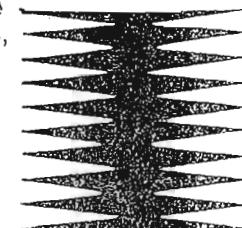
Видне самообмане

Често говоримо о »обманама вида«, »обманама слуха«, али ти изрази нису правилни. Не постоје обмане чула. Филозоф Кант је тачно рекао у вези с тим: »Чула нас не обмањују, — не зато што она не суде увек правилно, него зато што она уопште не суде.«

Шта нас онда обмањује у такозваним »обманама« чула? Разуме се, оно што у датом случају суди, тј. наш сопствени мозак. Стварно, већи део обмане вида зависи искључиво од тога што ми не само видимо него и несвесно просуђујемо, при чему нехотице доводимо себе у заблуду. То су — обмане мишљења, а не чула.



Сл. 134. Шта је шире —
A или B?



Сл. 135. Шта је веће
на овој слици — ви-
сина или ширина?

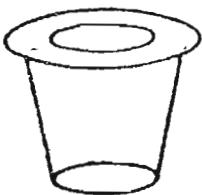
Још пре две хиљаде година писао је песник Лукреције:

Наше очи не умеју да упознају природу предмета.
Због тога им не приписуј заблуде разума.

Узмимо опште познати пример оптичке обмане: фигура A (сл. 134) изгледа ужа од фигуре B, ма да обе захватају потпуно једнаке квадрате. Узрок лежи у томе што се оцена висина код фигуре A добија као резултат несвесног сабирања појединих размака, и због тога нам она изгледа већа од ширине исте фигуре, која је уствари потпуно једнака са висином. Напротив, на фигури B, услед истог несвесног расуђивања, широта изгледа већа од висине. Из истог разлога и висина на сл. 135 изгледа већа од ширине.

Илузија корисна за кројаче

Ако зажелите да описану појаву вида примените на крупније фигуре, које не могу бити одједном обухваћене погледом, очекивања вам се неће испунити. Сваком је познато да мали дебео човек у оделу са попречним пругама не само не изгледа ужи, него, напротив, још шири. И обратно, ако пуни људи обуку хаљине са уздужним пругама и наборима, могу до извесне мере прикрити своју дебљину.

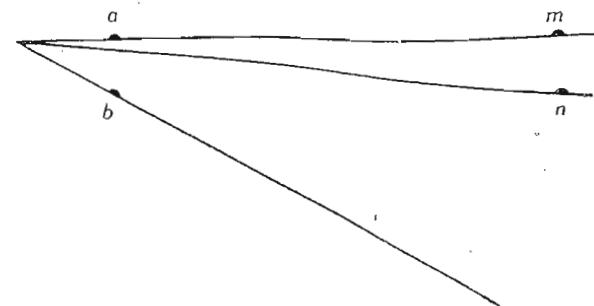


Сл. 136. Која је елипса већа — доња, или унутрашња горња?

мали пругасти предмети су најчешћи у овим оптичким илузијама. Мале пруге су веће од великих, а велике мале.

Шта је веће?

Која је елипса на сл. 136 већа: доња, или унутрашња горња? Тешко се ослободити помисли да је доња већа од горње. Међутим, обе су једнаке, и само присуство спољне елипсе ствара илузiju као да је елипса која се у њој налази мања од доње. Илузија се појачава тиме што нам цела слика не изгледа равна, него просторна — као слика канте: елипсе и нехотице претворамо у кругове виђене у перспективном изгледу, а бочне праве линије у странице канте.



Сл. 137. Које је растојање веће — ab или mn ?

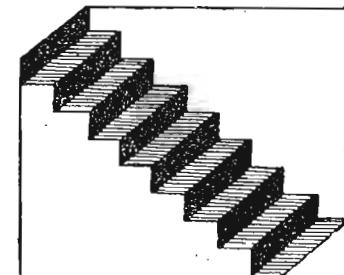
На сл. 137 растојање између тачака a и b изгледа веће него између тачака m и n . Присуство треће праве линије, која излази из истог врха, појачава илузију.

Снага уобразиље

Већина обмана вида, као што је већ речено, зависи од тога што ми не само да гледамо, него уз то и несвесно расуђујемо. »Ми не гледамо очима, него мозгом«, — веле физиолози. Ви ћете се сложити с тим када се упознатаце са илузијама, код којих посматрачева уобразиља свесно учествује у процесу видења.

Задржимо се на такозваним Шредеровим степеницама (сл. 138).

Ако будете показивали ту слику другима, на питање шта она приказује, добићете три врсте одговора. Једни ће казати да су то степенице; други — да је то ниша, удубљена у зиду; а трећи ће на слици видети врпцу од хартије, испресавијану »као хармоника«, која се простире косо у белом пољу квадрата.



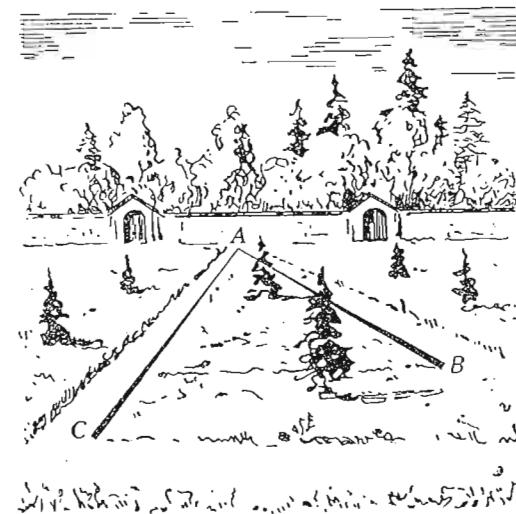
Сл. 138. Шта видите овде — степенице, нишу — или врпцу испресавијану »на хармонику«?

Ма како то било чудно, сва три су одговора тачна! Можете и сами видети све поменуте ствари ако свој поглед, посматрајући слику, усмерите на разне начине. Посматрајте цртеж и покушајте најпре да поглед усмерите на леви део слике, — видећете степенице. Ако вам поглед пређе по слици са десна на лево, — видећете нишу. Ако вам се поглед креће косо по дијагонали од доњег десног краја до горњег левог, — видећете врлицу од хартије испресавијану »на хармонику«.

Сл. 139. Како су овде смештене коцке? Где су две коцке — горе или доле?

Уосталом, после дужег разгледања, пажња се замори и ви ћете видети наизменце час једно, час друго, час треће, тада већ независно од ваше жеље.

Сл. 139. одликује се истом особеношћу.

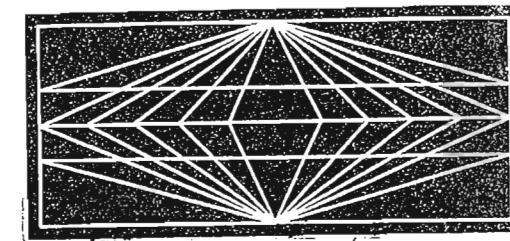


Сл. 139. Шта је дуже: AB или AC ?

Интересантна је илузија на сл. 140: ми и нехотиће подлежемо утиску да је растојање AB краће од AC . Међутим, та су растојања једнака.

Још о оптичким обманама

Све оптичке обмане нисмо у стању да објаснимо. Често не можемо ни да наслутимо какве се врсте расуђивања несвесно врше у нашем мозгу и условљавају једну или другу оптичку обману. На сл. 141 јасно се виде два лука, која су својим испупчењима окренута један према другоме. Чак се и не појављује сумња да је то тако. Али је довољно ставити лењир уз те тобожје лукове и погледати дуж њих, држећи слику право према очима, — па да се уверите да су то праве линије. Није једноставно објаснити ту илузију.



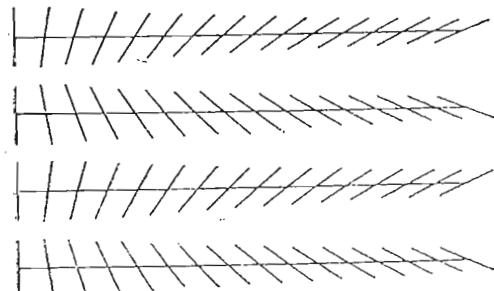
Сл. 141. Две линије у средини, које иду с десна на лево, паралелне су праве линије, ма да изгледају као лукови који су својим испучењем окренути један према другоме. Илузија се губи: 1) ако се слика дигне на висину очију и гледа тако да поглед клизи дуж линија; 2) ако се врх оловке стави на коју било тачку слике и поглед усредсреди на ту тачку



Сл. 142. Да ли је на шест једнаких делова подељена ова права?

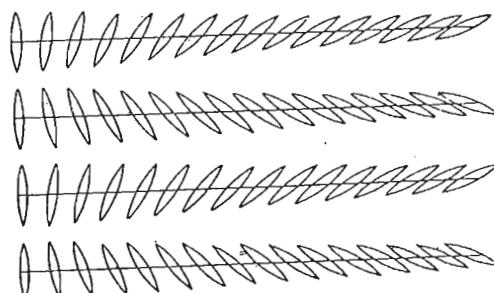
Навешћемо још неколико примера илузије исте врсте. На сл. 142, права изгледа подељена на неједнаке делове;

мерење ће нас уверити да су делови једнаки. На сл. 143 и 144, паралелне праве изгледају као да нису паралелне. На сл. 145, круг чини утисак овала.



Сл. 143. Паралелне праве изгледају непаралелне

Интересантно је да оптичке обмане, приказане на сл. 141, 143 и 144, престају да обмањују око ако се по-

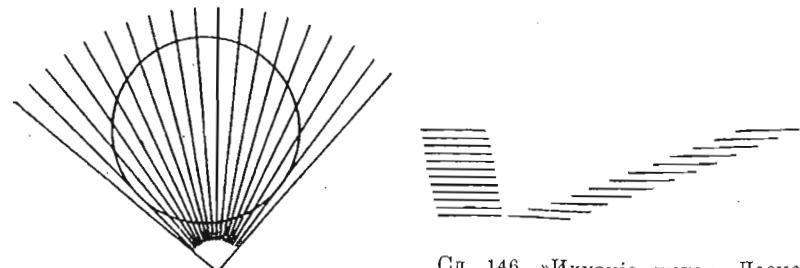


Сл. 144. Модификација илузије показане на сл. 143

сматрају при светlosti електричне искре. Очевидно, те обмане су у вези са кретањем очију: при краткотрајном блеску искре такав покрет очију не може да се учини.

Ево још једне исто тако интересантне илузије. Погледајте сл. 146 и реците: које су цртице дуже, — оне лево, или оне десно.

Прве изгледају да су дуже, ма да су и једне и друге потпуно једнаке.⁷⁷ Та илузија назvana је »илузија луле«.



Сл. 145. Да ли је то круг?

Сл. 146, »Илузија луле«. Десне цртице изгледају краће него леве, ма да су једнаке

Давано је много објавашњења ових интересантних илузија, али су она мало убедљива, и ми их нећemo овде наводити. Једно је, очевидно, несумњиво. Узрок тих илузија крије се у несвесном расуђивању, у нехотичном »лукавом мудровању« ума, које нам смета да видимо онако како је у стварности.⁷⁸

Шта је то?

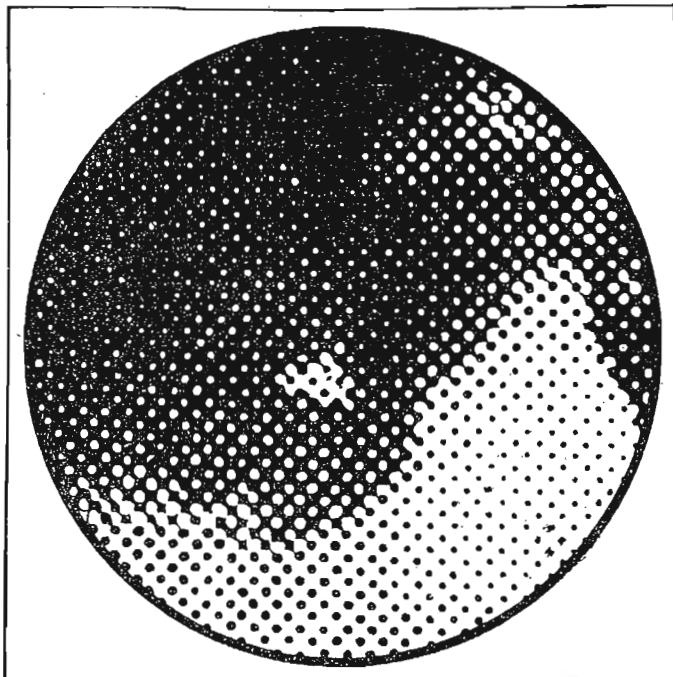
При погледу на сл. 147, тешко да ћете се одмах до-сетити шта она претставља. »Просто црно сито и ништа више«, казаћете ви. Али, ставите књигу усправно на сто, одмакните се 3—4 корака и погледајте одатле. Видећете човечје око. Приђите ближе, — пред вама ће се поново појавити сито које ништа не приказује...

Ви ћете, наравно, помислити да је то неки вешти »трик« доセтельњивог гравера. Не, то је само груби пример

⁷⁷ Цртеж претставља, између осталог, илustrацију познатог Кавалеријевог геометриског начела (површине које заузимају оба дела »луле« — једнаке су).

⁷⁸ Оне који се интересују оптичким обманама упућујем на свој мали албум »Обмане вида«, у коме је сакупљено преко 60 примера разноврсних оптичких илузија.

оне обмане вида којој подлежемо увек када посматрамо такозване »тонске« илустрације, или »аутотипије«. У књигама и часописима изгледа нам увек да је подлога слике испуњена; али потледајте је кроз лупу, — и пред вами ће се појавити иста таква мрежа каква је приказана на сл. 147. Та слика, која вас је збунила, није ништа друго него 10 пута увећан део обичне тонске илустрације.



Сл. 147. При посматрању овога сита из далека, у њему се лако разазнаје око и део носа женског профила окренутог десно

Разлика је само у томе што се мрежа, кад је мала, слива у испуњену подлогу већ на малом растојању, — на оном на коме ми обично држимо књигу при читању. А када је мрежа крупна, стапање се дешава ћа великим растојању.

Необични точкови

Јесте ли имали прилике да кроз размаке између дасака на огради, или, још боље, да на биоскопском платну посматрате паоце на точковима кочије или аутомобила у брзом кретању? Вероватно сте при томе примећивали чудну појаву: аутомобил јури вртоглавом брзином, а точкови се једва окрећу, или се уопште не окрећу. И не само то: они се неки пут окрећу чак у супротном правцу!

Та обмана вида тако је необична да збуњује сваког ко је примети први пут.

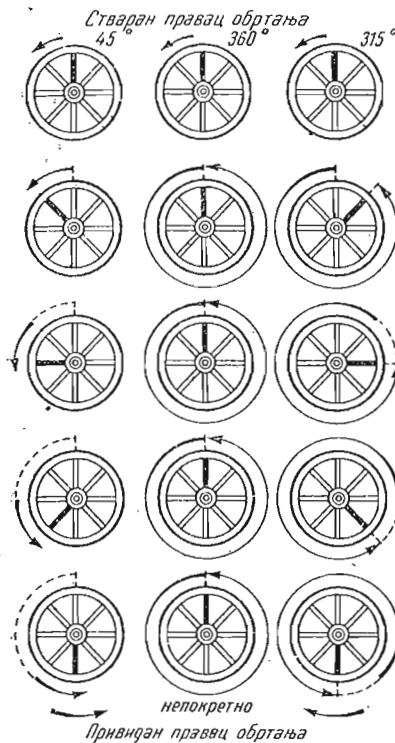
Она се објашњава на следећи начин. Посматрајући кроз шупљине на тарабама окретање точка (покрећући поглед дуж тараба), ми не видимо паоце точка непрекидно, него у једнаким временским размацима, јер нам их даске од плота сваког тренутка заклањају. Исто су тако и на филмској врпци точкови насликаны са прекидима, у појединим тренуцима (у сваком 15-ом делу секунде). Овде су могућна три случаја, које ћемо одмах размотрити један за другим.

Прво, може се догодити да за време прекида точак учини цели број окретаја — свеједно колико: 2 или 20, — важно је само то да је број цео. Тада ће паоци точка на новом снимку заузети исти положај као и на ранијем. У следећем временском размаку точак ће учинити поново цели број окретаја (јер се величина размака и брзина аутомобила не мењају) и положај паоца ће остати исти као и пре. А када видимо стално један исти положај паоца, закључујемо да се точак уопште не окреће (види средњи стубац на сл. 148).

Други случај: точак успева у сваком временском размаку да учини цели број окрета и један веома мали део окрета. Посматрајући смењивање таквих слика, цели број окретаја нећемо ни наслућивати, него ћемо видети само лагано окретање точка (сваки пут мали део окретаја). Чиниће нам се, уствари, да се, без обзира на брзо кретање аутомобила, точкови полако окрећу.

Трећи случај: у току временског размака између два снимања, точак не учини пун окретај, него такав који се од пуног разликује за мали део (на пример, окреће се

за 315° , као што је показано у трећем стубцу на сл. 148). Тада ће изгледати да се паоци окрећу у супротном правцу. Тај ће лажни утисак трајати све дотле док точак не промени брзину окретања.



Сл. 148. Узорак загонетног кретања точкова на биоскопским сликама

Када се у биоскопу показују обичне сцене, та обмана не омета добијање природног утиска. Али ако се жели да се на екрану објасни дејство неког механизма, онда та обмана може изазвати неспоразуме и чак потпуно изопачити претставу о раду машине.

Пажљив посматрач, који на екрану види тобожњи непокретни точак аутомобила у покрету, може лако, пошто преброји његове паоце, просудити до извесне мере колико он окретаја учини у секунди. Обична брзина филма је 16 слика у секунди. Ако је број паоца на ауто-

потребно је још унети извесне мале допуне у наше објашњење. У првом случају, ради једноставности, говорили смо о броју пуних окретаја точка; али, како су паоци слични једни другима, то је доволно да се точак окрене за цели број размака између паоца. То исто важи и за друге случајеве.

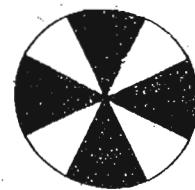
Могућни су и још чудноватији случајеви. Ако се на руб точка стави неки знак, може се додати, пошто сви паоци личе један на други, да се руб креће у једном правцу, а паоци у супротном!

Када се у биоскопу показују обичне сцене, та обмана не омета добијање природног утиска. Али ако се жели да се на екрану објасни дејство неког механизма, онда та обмана може изазвати неспоразуме и чак потпуно изопачити претставу о раду машине.

Пажљив посматрач, који на екрану види тобожњи непокретни точак аутомобила у покрету, може лако, пошто преброји његове паоце, просудити до извесне мере колико он окретаја учини у секунди. Обична брзина филма је 16 слика у секунди. Ако је број паоца на ауто-

мобилском точку 12, онда је број окретаја у секунди једнак $16 : 12$, тј. $\frac{4}{3}$, или на један цели окретај $\frac{3}{4}$ секунде. То је најмањи број окретаја. Он може бити и неколико пута већи (тј. два пута, три пута итд.). Пошто се оцени величина дијаметра точка, може се извести закључак о брзини кретања аутомобила. На пример, кад точак има дијаметар од 80 цм, у посматраном случају имамо брзину од 12 км на сат, или 24 км, или 36 км итд.

Ову обману вида искоришћује техника за израчунавање броја окретаја осовина које се брзо окрећу. Објаснимо на чему се заснива тај метод. Светлосна снага лампе која ради на наизменичну струју, није стална; после сваког стотог дела секунде светлост слаби, ма да под обичним условима не примећујемо никакво треперење. Али замислимо да је таквом светлошћу осветљен диск који је приказан на сл. 149. Ако се диск окреће тако да чини $\frac{1}{4}$ окретаја у стотом делу секунде, онда ће се десити нешто неочекивано: уместо обичног уједначеног сивог круга, око ће угледати црне и беле осечке, као кад би диск стајао непокретан. Узрок ове појаве је, надам се, разумљив за читаоца који је разумео илузију са аутомобилским точковима. Лако се досетити такође како се та појава може применити за рачунање броја окретаја осовине.



Сл. 149. Диск за одређивање брзине окретања мотора

»Микроскоп времена« у технички

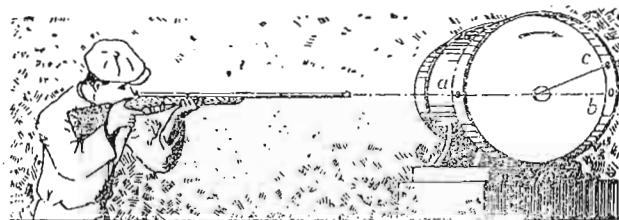
У првој књизи »Занимљиве физике« описана је »лупа времена«, која се заснива на употреби киноапарата. Овде ћемо проговорити о другом начину да се постигне сличан ефекат, који се ослања на појаву размотрену у претходном чланку.

Знамо већ да диск са црним секторима (сл. 149), који чини 25 окретаја у секунди, ако се наизменично осветљава са 100 блесака у секунди, изгледа оку непокретан. Замислите, међутим, да број блесака износи 101 у секунди. У току временског размака између два таква

узајомна блеска, диск неће успети да се окрене, као раније, за пуну четвртину окретаја и, према томе, одговарајући сектор неће стићи до првобитног положаја.

Око ће видети да је он заостао за стоти део обима круга. При следећем блеску изгледаће као да је заостао за још један стоти део круга итд. Изгледаће нам да се диск окреће и азад, чинећи један окретај у секунди. Кретање је успорено 25 пута.

Није тешко замислити како се може видети исто уопорено окретање, али не на супротну страну, него у нормалном правцу. За то је потребно број светлосних блесака умањити, а не повећати. На пример, са 99 блесака у секунди изгледаће да се диск окреће напред чинећи један окретај у секунди. Ту имамо »микроскоп времена« са 25-тоструким успорењем. Али је потпуно могућно доказати још веће успорење. Ако се, на пример, број блесака доведе до 999 у 10 секунда (тј. 99,9 у секунди), изгледаће као да диск учини један окретај у 10 секунда; он има, дакле, 250-тоструко успорење.



Сл. 150. Мерење брзине кретања метка

Свако брзо периодично кретање може се на овај начин успорити за наше око у жељеном степену. То даје погодну могућност да се изучавају особености кретања и веома брзих механизама, успоравајући њихово кретање нашим »микроскопом времена« за 100 пута, 1000 пута итд.⁷⁹

⁷⁹ Производња сличних уређаја (»стробоскопа«) недавно је пошла за руком Научно-истраживачком институту за саобраћај у Ленинграду. Уређаји се примењују на лењинградском телеграфу, у изградњи турбина и др.

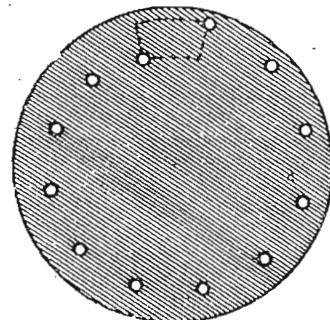
Описијмо још и начин на који се мери брзина метка, а који се заснива на могућности да се тачно одреди број окретаја диска. На осовину која се брзо окреће натакне се картонски круг са црним пољима и са завијеним крајевима, тако да круг има облик отворене цилиндричне кутије (сл. 150). Стрелац испали метак дуж дијаметра те кутије, пробијајући њен зид на два места. Кад би кутија била непокретна, оба би отвора лежала на крајевима истог дијаметра. Али, кутија се окретала и за време док је метак летео од једног њеног краја до другога, она је успела да се мало окрене, те је метак прошао кроз тачку с уместо кроз тачку *b*. Када се зна број окретаја кутије и њен дијаметар, може се из величине лука *bc* израчунати брзина кретања метка. То је једноставан геометрички задатак, који ће лако решити читаоци који донекле владају математиком.

Диск Нипкова

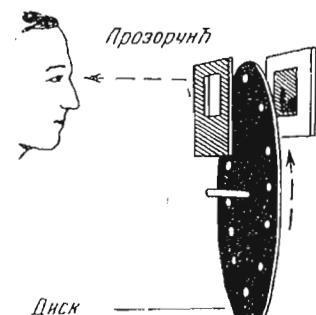
Значајну техничку примену оптичке обмане представља такозвани »диск Нипкова«, који се употребљује у савременим телевизијским уређајима. На сл. 151 ви видите круг на чијим је крајевима распоређено 12 рупица са отвором од 2 мм; рупице су размештене равномерно по спиралној линији, тако да је свака за величину отвора ближе центру од суседне. Изгледа као да такав диск не обећава ништа нарочито. Али, ставите га на осовину, направите пред њим прозорчић, а иза њега ставите слику исте величине (сл. 152). Ако сада почнете да брзо окрећете диск, десиће се неочекивана појава: слика коју не-покретни точак заклања видеће се јасно при његовом окретању у предњем прозорчићу. Успорите окретање — слика ће постали нејасна и коначно ће, при заустављању диска, потпуно ишчезнути; тада ће се од слике видети само оно што се може разазнати кроз сићушну рупицу од два милиметра.

Погледајмо у чemu је тајна загнетног ефекта овога диска. Окрећимо диск лагано и посматрајмо куда пролази свака појединачна рупица у отвору прозорчића. Рупица

која је најдаље од центра пролази у близини горњег краја прозорчића; ако је то кретање брзо, кроз рушицу ће се видети цели појас слике на њеном горњем крају, широк колико је широка и рушица. Следећа рушица, која



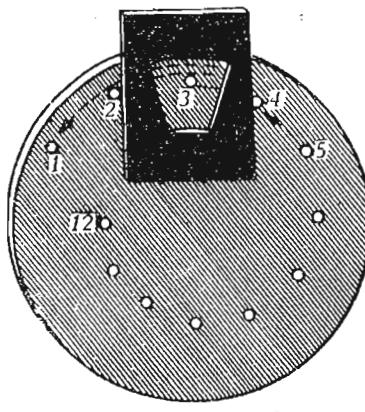
Сл. 151.



Сл. 152.

се налази испод прве, откриће, при брзом пролазу кроз отвор прозорчића, други појас слике, који се налази испод првог (сл. 153); трећа ће рушица омогућити да се види трећи појас слике итд. При доволјно брзом окретању диска видеће се, услед тога, цела слика; изгледаће као да је према прозорчићу изрезан на диску одговарајући отвор.

Диск Нипкова није тешко направити; брзо окретење може се постићи помоћу врпце намотане на осовину диска; али, разуме се, најбоље је послужити се малим електромотором.



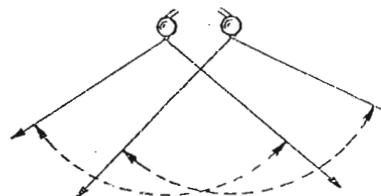
Сл. 153.

тако да се постиги помоћу врпце намотане на осовину диска; али, разуме се, најбоље је послужити се малим електромотором.

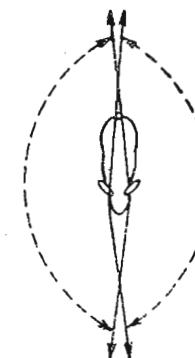
Зашто је зец разрок?

Човек је једи од ретких бића чије су очи подешене за истовремено посматрање неког предмета: видно поље деснога ока не подудара се само малим делом са видним пољем левога ока.

Међутим, већина животиња гледа сваким оком одвојено. Предмети које они виде не одликују се оном рељефношћу на коју смо ми навикли, али је зато њихово видно поље



Сл. 154. Видно поље оба човековна ока



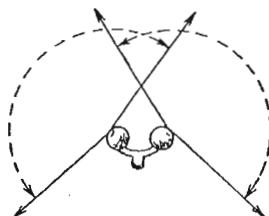
Сл. 155. Видно поље оба ока код зела

знатно веће него код нас. На сл. 154 приказано је човеково видно поље: свако око види — у хоризонталном правцу — простор у границама угла од 120° , и оба се угла међусобно скоро покривају (претпоставља се да се очи не покрећу).

Упоредите тај цртеж са сл. 155, која приказује видно поље зела; зец види својим размакнутим очима не само оно што се налази испред њега, а и оно што је иза њега, а да притом не окреће главу. Видна поља оба ока састављају се код зела испред и иза њега! Сада схватате зашто је тако тешко прикрастити се зецу а да га не поплашиште. Али зец због тога као што је јасно из цртежа, не види оно што је непосредно пред његовом љушком; да би видео веома близке предмете, зец мора окренuti главу устрани.

Скоро сви копитари и преживачи без изузетка имају такву способност вида »на све стране«. На сл. 156 при-

казан је распоред видних поља код коња: она се не састају позади, али је довољно да коњ само мало окрене главу, па да угледа предмете који се налазе иза њега. Видни опажаји, истина, нису баш тако јасни, али зато животињи не измиче ни најмањи покрет који се дешава далеко уоколо. Лако покретне грабљиве животиње, које су обично нападачи, — немају ту способност да виде свуда око себе; оне имају »двоочни« вид, који им омогућује да тачно оцењују растојање за скок.



Сл. 156. Видно поље оба ока код коња

Зашто су у мраку све мачке сиве?

Физичар би рекао: »У мраку су све мачке црне«, зато што се никакав предмет при отсуству светlosti не види. Али пословица се не односи на потпуни мрак, него на мрак у свакодневном смислу речи, тј. на веома слабо осветљење. Сасвим тачно пословица гласи овако: ноћу су све мачке сиве. Првобитни је смисао пословице, а не њен преносни смисао, да при недовољном осветљењу наше око престаје да разликује боју, и све површине изгледају сиве.

Да ли је то тачно? Да ли ви стварно у полутамни видите и црвену заставу и зелено лишће подједнако сиво? Лако се уверити у правилност тога тврђења. Ко је у сумраку загледао боје предмета, тај је сигурно запазио да се разлике у бојама губе и да се све ствари чине више или мање сиве: и црвени јорган, и плаве тапете, и љубичасти цветови и зелено лишће.

»Кроз спуштене завесе, — читамо код Чехова (»Писмо«) — нису продирали сунчани зраци, било је сумрачно, тако да су све руже у великому букету изгледале као да су исте боје.«

Тачни физички експерименти потпуно потврђују то запажање. Ако обојену површину осветлимо слабим белим светлом (или белу површину обојеним свет-

лом), појачавајући постепено осветљење, око ће у почетку видети просто сиву боју без икакве нијансе друге боје. И тек пошто се осветљење појача до одређеног степена, око почиње примећивати да је површина обојена. Тада се степен осветљености назива »доњим прагом осећања боја«.

Дакле, буквалац и потпуно правилан смисао пословице (која постоји у многим језицима) је то да испод »прага осећања боја« сви предмети изгледају сиви.

Утврђено је да постоји и горњи праг осећања боја. При ванредно јаком осветљењу око поново престаје да разликује боје: све обојене површине изгледају једнако беле.

Постоје ли хладни зраци?

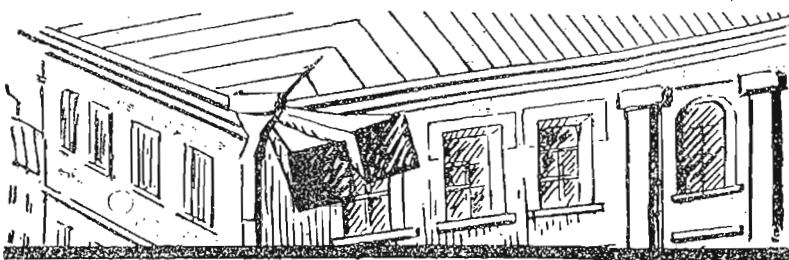
Распрострањено је мишљење као да упоредо са топлотним зрацима постоје и хладни зраци, зраци мраза. На мисао о њима наводи, на пример, чињеница да комад леда шире око себе хладноћу исто тако као што пећ ствара око себе топлоту. Зар то не говори о томе да се из леда шире хладни зраци, као што се из пећи шире топли зраци?

Али је такво тумачење погрешно. Хладни зраци не постоје. Ствари у близини леда не постају хладније под дејством »хладних зрака«, него због тога што топле ствари губе, путем зрачења, више топлоте него што је од леда добијају. И топле ствари и хладни лед испуштају топлоту путем излучивања; ствар која је јаче загрејана него лед излучује више топлоте него што је добија. Прилив топлоте је мањи од утрошка, и ствар се расхлађује.

Постоји један ефектан оглед — може се видети у Дому занимљиве науке у Лењинграду — који такође може навести на мисао о хладним зрацима. На два супротна зида дугачке сале поставе се велика удубљена огледала. Ако се близу једног огледала, у такозваном »фокусу«, стави јак извор топлоте, онда ће зраци које он испушта, одбивши се од огледала, ићи до другог огледала, од којег ће се поново одбити и сакупити се у једној тачки — у »фокусу«; тамна хартија, стављена на то место, запалиће

се. То очигледно сведочи о постојању топлотних зрака. Али, ако уместо топлотног извора сместимо у фокусу преог огледала комад леда, испоставиће се да ће термометар који се налази у фокусу другог огледала забележити ту хладноћу. Али, значи ли то да лед испушта хладне зраке који се одбијају од огледала и концентришу на куглицу термометра?

Не. И у овом случају та појава може се објаснити без тајанствених хладних зрака. Кугла термометра, путем излучивања, даје леду више топлоте него што сама добија од леда; због тога се у њој жива расхлађује. Дакле, ни овде нема разлога да се допусти постојање хладних зрака. У природи нема никаквих хладних зрака: сви зраци дају енергију, а не одузимају је.



ГЛАВА ДЕСЕТА

ЗВУК. — ТАЛАСАСТО КРЕТАЊЕ

Звук и радиоталаси

Звук се простире, приближно, милион пута спорије од светlostи; а како се брзина радиоталаса подудара са брзином простирања светлосних титраја, то је звук милион пута спорији од радиоталаса. Одавде проистиче интересантан закључак, чију суштину објашњава следећи задатак: ко ће пре чути први акорд пијанисте: посетилац концертне дворане, који седи на 10 метара од клавира, или радиослушалац који у свом стану, на стотину километара од сале, слуша поред апаратца пренос концерта?

Ма како то чудно било, радиослушалац ће чути први акорд пре него посетилац концертне дворане, ма да се налази 10.000 пута даље од музичког инструмента. Уствари: радиоталаси прођу растојање од 100 километара за

$$\frac{100}{300.000} = \frac{1}{3.000} \text{ сек.}$$

Звук међутим пређе растојање од 10 метара за

$$\frac{10}{340} = \frac{1}{34} \text{ сек.}$$

Из овога се види да је за пренос преко радија потребно скоро 100 пута мање времена него за преношење звука кроз ваздух.

Звук и метак

Када су путници у Жил Верновом ћулету полетејели на Месец, зачудили су се што нису чули звук гигантског топа који их је избацио из свога ждрела. Друкчије није могло ни бити. Ма како да би заглушујући био прасак, брзина његовог простирања (као и уопште сваког звука у ваздуху) износила би свега 340 м у секунди, — док се ћуле кретало брзином од 11.000 м/сек. Разуме се да звук тога није могао стићи до ушију путника: ћуле је пре-стигло звук.

А како стоји ствар са правим, нефантастичним ћуладима и мецима: да ли се они крећу брже од звука, или их, напротив, звук престижије и упозорава жртву о приближавању смртоносног танета?

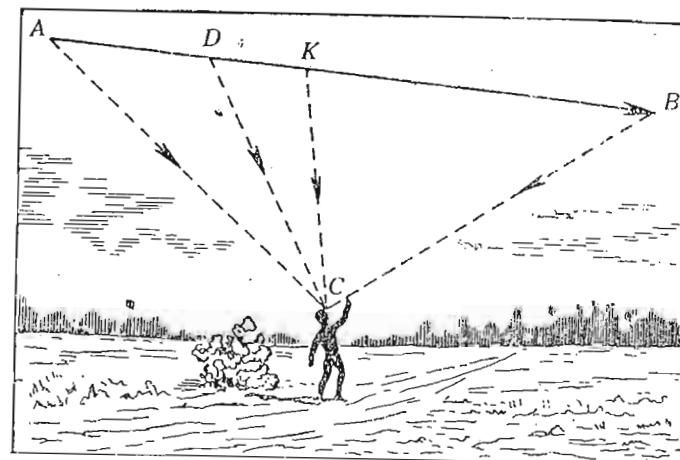
Савремене пушке дају мецима брзину која је скоро три пута већа од брзине звука у ваздуху, и то око 900 м у секунди (брзина звука на 0° износи 332 м). Истина, звук се простире равномерно, док метак лети успоравајући брзину свога лета. Ипак се у току већег дела пута метак креће брже од звука. Одатле произлази да можете бити мирни ако за време паљбе чујете звук пущња или звиђање метка: тај вас је метак већ мимо и шао. Метак престижије звук пущња, и ако метак погоди своју жртву, она ће бити убијена пре него што звук пущња достигне њено уво.

Тобожња експлозија

Утакмица у брзини између тела које лети и звука који оно произведи доводи нас понекад на то да и нехочиће изводимо погрешне закључке, који каткад уопште не одговарају правој слици појаве. Интересантан пример претставља болид (или топовски метак) који лети високо над нашом главом. Болиди, који прориду у атмосферу

наше планете из свемирског простора, имају огромну брзину, која је, чак и кад је умањена услед отпора атмосфере, ипак десетинама пута бржа од звука.

Пресецајући и усијавајући ваздух, болиди често стварају хуку која потсећа на громљавину. Замислите да се налазимо у тачки C (сл. 157), а изнад нас по линији AB лети болид. Звук који производи болид у тачки A доспеће до нас (у тачки C) тек када и сам болид већ стигне у тачку B; како болид лети много брже од звука, он може стићи до извесне тачке D и одатле нам послати звук пре него што до нас дође звук из тачке A. Због тога ћемо пре чути звук из тачке D, а тек затим звук из тачке A. А како ће из тачке B звук стићи до нас такође касније него из тачке D, онда негде над нашом главом мора постојати нека тачка K, из које ће најпре звук болида стизати до нас. Они који воле математику могу израчунати положај те тачке ако задају одређен однос брзине болида и звука.



Сл. 157. Тобожња експлозија болида

Ево резултата: оно што ћемо чути неће нимало ли-чити на оно што ћемо видети. За очи ће се болид појавити најпре у тачки A, и одатле ће прелетети линијом AB. Али за ухо ће се болид појавити најпре негде

изнад наше главе у тачки *K*, а затим ћемо истовремено чути два звука, који ће ишчезавати у супротним правцима — од *K* према *A*, и од *K* према *B*. Другим речима, чућемо као да се болид распао на два дела, који су одјурили у супротним правцима. Међутим, у стварности, није било никакве експлозије. Ето како могу бити погрешни опажаји слуха! Могућно је да су многе експлозије болида, о којима су сведочили »очевици« — обмане слуха баш такве врсте.

Срећна случајност

Кад се звук у ваздуху не би простирао брзином од 340 м у секунди, него знатно спорије, онда би се обмане слуха запажале знатно чешће.

Замислите, на пример, да звук не прелази у секунди 340 м, него, рецимо, 340 мм, тј. да се креће спорије од пешака. Седећи у хотелу, ви слушате причу вашег поznаника, који има обичај да говори ходајући горе-доле по соби. При обичним приликама, то вам ходање нимало не смета да слушате; али при смањеној брзини звука, баш ниспта не бисте разумели из говора вашег госта: звучи раније изговорени сустизали би нове и мешали се с њима, — то би испала збрка звукова без икаквог смисла.

Између осталог, у оним тренуцима када би вам се гост приближавао, звуци његових речи стизали би до вас обрнутим редом: најпре би до вас допирали звуци тек изговорени, онда раније изговорени звуци, затим они који су изговорени још раније итд., јер онај који говори престиже своје звуке и стално се налази испред њих, продужујући да ствара стално нове. Од свих реченица, које би се изговориле под таквим условима, могли бисте разумети вељда само ону којом је старији богослов зачудио једном младог Карасја Помјаловског⁸⁰:

Я иду с мечом, судия.⁸¹

⁸⁰ Строго узвешти, то није сасвим тачно: ми не изговарамо одједном појединачна слова, него целе словове. Реченица би се чула приближно овако: я ди-су м-чо-мес ду-и-я.

⁸¹ Ја идем с мачем, као судија.

Морамо бити захвални судбини за ту срећну случајност што се звук преноси кроз ваздух стотине метара сваке секунде: можда бисмо се, при знатно мањој брзини, морали одрећи говора. Притом се још мора имати у виду и промена висине звука услед Доплерове појаве (види даље на стр. 290).

Најспорији разговор

Ако мислите, међутим, да је стварна брзина звука у ваздуху, тј. трећина километра у секунди, доволно велика брзина, одмах ћете променити своје мишљење.

Замислите да је између Москве и Лењинграда, уместо електричног телефона, направљена обична цев за разговор, налик на оне телефоне који су некада служили за везу између појединачних одељења великих магазина, или којима су се служили на паробродима за везу са машинским одељењем. Ви стојите на лењинградском крају те цеви дуге 650 километара, а ваш пријатељ на њеном другом крају у Москви. Постављате питање и очекујете одговор. Прође пет, десет, шетнаест минута, а одговора нема. Почињете да се узнемирујете и мислите да се савоворнику десила нека несрећа. Али су страховања непотребна: Питање просто још није стигло до Москве и налази се тада тек на половини пута. Проћи ће још четврт сата пре него што ваш познаник у Москви чује питање и могне да вам одговори. И његов одговор ићи ће од Москве до Лењинграда преко пола сата, тако да ћете одговор на своје питање добити тек после једног сата.

Рачун можете проверити; од Лењинграда до Москве је 650 км; звук прелази у секунди $\frac{1}{3}$ км; dakле, растојање између оба града прећи ће за нешто више од 2.160 секунди, или за нешто више од тридесет и пет минута. Под таквим условима, разговарајући цео дан од јутра до вечери, ви бисте једва успели да изменјате десетак реченица.

Најбржим путем

Било је, уосталом, време када би се чак и такав начин преношења вести сматрао веома брзим. Пре сто година, још нико није ни сањао о електричном телефону и телеграфу, и пренос новости на 650 километара у току неколико часова сматрао би се идеално брзим.

Прича се да је приликом крунисања цара Павла I саопштење о часу отпочињања церемоније у Москви било упућено у северну престоницу на следећи начин. Дуж целог пута између обе престонице били су постављени војници на 200 метара један од другога; при првом удару звона Саборне цркве, најближи војник испалио је метак у ваздух; његов сусед, кад је чуо сигнал, такође је одмах испалио из своје пушке, за њим је пуцао трећи војник, — и на тај начин је сигнал био предат Лењинграду (тада Петрограду) за свега три сата. Три сата после првог удара звона у Москви, већ су громели топови на Петровпавловској тврђави на даљини од 650 км.

Да се звоњење московских звона могло непосредно чути у Лењинграду, тај би звук, као што већ знамо, стигао у северну престоницу са закашњењем од свега пола часа. Значи да су од три сата, употребљена на преношење сигнала, $2\frac{1}{2}$ сата утрошена на то да војници приме звучни опажај и да учине потребне покрете за испаљивање метка. Ма да је то успоравање скоро ништавно, ипак су се из хиљаде таквих малих временских размака накупила $2\frac{1}{2}$ часа.

На сличан начин је у старо време радио оптички телеграф, који је светлосне сигнале предавао најближој станици, која их је даље преносила. Системом преношења светлосних сигнала служили су се често, у царско време, револуционари ради заштите тајних састанака илегалаца; ланац револуционара протезао се од места састанка до полициске зграде и при првим сумњивим знацима обавештавали су о томе сакупљене другове блеском цепних електричних лампи.

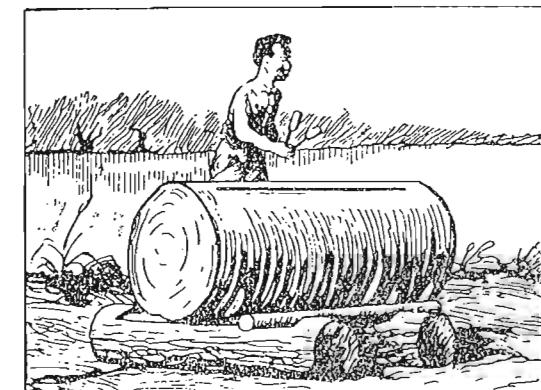
Бубањ као телеграф

Преншење вести путем звучних сигнала још је и сада распрострањено код урођеника Африке, Централне Америке и Полинезије. Урођеничка племена употребљују у том циљу нарочите бубњеве, помоћу којих преносе звучне сигнале на огромну даљину: уговорени сигнал, који се чује у једном месту, понавља се у другом, преноси даље тим начином, — и за кратко време цео крај сазнаје за неки важан догађај (сл. 158).

За време првог италијанско-абисинског рата, сви су покрети италијанске војске били врло брзо познати негусу Менелику; то је доводило у недоумицу италијански штаб, који није ни помишљао на то да код противника постоји телеграф путем бубња.

У почетку другог италијанско-абисинског рата, објављена је на сличан начин наредба о општој мобилизацији, која је била издата у Адис Абеби: за неколико часова је она била позната и у најудаљенијим селима.

То исто примењено је и за време енглеско-бурског рата: захваљујући »телеграфу« Кафра, све су се војне вести необичном брзином шириле међу становништвом Капланда, престижући за неколико дана званичне извештаје путем курира.



Сл. 158. Урођеник острва Фиџи разговара помоћу бубња који служи уместо телеграфа.

Према сведочењима путника (Лео Фробениус), систем звучних сигнала разрадила су нека афричка племена тако добро да се може сматрати да они имају телеграф савршенији од европског оптичког телеграфа, који је претходио електричном. Ево шта је о томе саопштено у једном часопису. Р. Гаселден, археолог Британског музеја, налазио се у граду Ибада, дубоко у Нигерији. Бубњеви су стално ударали и даљу и ноћу. Једнога јутра, научник је чуо како црнци о нечем живо разговарају. На његово распитивање о чему је реч, један наредник му је одговорио: »Велика лађа белих људи је потонула; много се белаца потопило.« Такав је био извештај који је преко бубња јављен са обале. Научник тим гласовима није придао никаквог значаја. Међутим, после три дана добио је услед прекида везе задоцнели телеграм о пропасти »Лузитаније«. Тада је разумео да је црнчака вест била тачна и да је сна »протутијала« на језику бубња кроз све земље од Каира до Ибаде. То је било утолико чудније што племена која су преносила ту вест једна другима говоре потпуно различитим наречјима, а нека су од њих у то време и ратовала између себе.

Звучни облаци и ваздушни ехо

Звук се не одбија само од чврстих преграда, него и од тако пешчних ствари као што су облаци. Чак и потпуно прозидни ваздух може, под извесним условима, одбијати звучне таласе, — и то у случају када се он, по својој способности преношења звука, разликује због нечега од остале масе ваздуха. Ту се дешава појава слична ономе што се у оптици назива »пуним одбијањем«. Звук се одбија о невидљиву преграду, и ми чујемо загонетан ехо за који се не зна одакле долази. Тиндал је случајно открио ту интересантну чињеницу кад је вршио огледе са звучним сигналима на морској обали. »Из потпуно прозидног ваздуха добија се ехо, — пише он. — Ехо нам је долазио, као неком чаролијом, од невидљивих звучних облака.«

Звучним облацима називао је чувени енглески физичар оне делове прозидног ваздуха који задржавају звук и присиљавају га да се одбија, стварајући »ехо од ваздуха«. Ево шта он вели у вези с тим:

»Звучни облаци стално плове ваздухом. Они немају никакве везе са обичним облацима или маглом. Најпрозиднија атмосфера може бити испуњена њима. Тако се може стварати ваздушни ехо. На супрот мишљењу које влада, он може настати и у најчистијој атмосфери. Постојање таквих ваздушних одјека доказано је запажањима и огледом. Њих могу изазивати ваздушне струје које су различито загрејаване или садрже разне количине паре.«

Постојање звучних облака кроз које звук не продире објашњава нам неке загонетне појаве које се понекад запажају за време битке. Тиндал наводи следећи одломак из успомена једног очевица из Француско-пруског рата 1871. г.:

»Јутро, 6-ога, било је сушта супротност јучерашњем јутру. Јуче је владала хладноћа која пробија и магла од које се није могло видети даље од пола миље. А 6-ога је било ведро, светло и топло. Јуче је ваздух био испуњен звуцима, а данас је владала тишина Аркадије која не зна за ратове. У чуду смо гледали један другога. Зар је без трага испчезао Париз, његова утврђења, топови, бомбардовања?... Одјахао сам у Монморанси, одакле се пред мојим очима открила широка панорама северне стране Париза. Међутим, и ту је владала мртва тишина... Суспрео сам три војника и почели смо да претресамо ситуацију. Они су били склони претпоставци да су сточели преговори о миру, јер се од самога јутра није чуо ниједан пуцањ...«

»Упутио сам се даље за Гонес. Са запрепашћењем сам сазнао да су немачке батерије енергично тукле још од осам часова ујутро. Са јужне стране стпочело је бомбардовање у исто време. Међутим, у Монморансију нисмо чули ни једног јединог звука!... Све је то зависило од ваздуха: данас је он преносио звук исто тако рђаво као што га је јуче преносио добро.«

Сличне су се појаве често залажале и за време великих битака 1914—1918. г.

Беззвучни звуци

Има људи који не чују тако оштре звуке као што је цврчање попца или писка слепога миша. Ти људи нису глуви, — њихови су органи слуха исправни, а они ипак не чују веома високе тонове. Тиндал — чувени енглески физичар — тврди да неки људи не чују чак ни цвркућање вралца!

Уопште, наше уво не прима ни издалека сва треперења која се дешавају у нашој близини. Ако тело чини у секунди мање од 16 трептада, ми не чујемо звук. Ако чини више од 15 до 22 хиљаде трептада, ми га такође не чујемо. Горња граница осетљивости тонова није једнака код свих људи. Код старих се људи она спушта до 6 хиљада трептада у секунди. Због тога се и дешава та чудна појава да продорни високи тон који један човек јасно чује, за другог не постоји.

Многи инсекти (на пример комарац, попац) производе звуке који имају 20 хиљада трептада у секунди; за неке уши ти тонови постоје, за друге — не. Такви људи који су несsetљиви за високе тонове, уживају у потпуној тишини тамо где други чују цео хаос продорних звукова. Тиндал прича да је једанпут посматрао сличан случај за време шетње у Швајцарској са својим пријатељем: »Ливаде са обе стране пута биле су препуне инсеката, који су, за моје уво, испуњавали ваздух својим оштрим зујањем, али мој пријатељ није ништа чуо: музика инсеката налазила се изван границе његова слуха.«

Писка слепога миша нижа је за једу октаву од продорног звука инсеката, тј. треперење ваздуха је притом два пута мање учестано. Али има људи код којих граница осетљивости за тонове лежи још ниже, и слепи мишеви су за њих — безгласна бића.

Међутим, пси, као што је утврђено у лабораторији академика Павлова, осећају тонове са бројем трептада до 38 хиљада у секунди.

Ултразвуци у служби технике

Савремена физика и техника располажу средством за произвођење »беззвучних звукова« који имају знатно већу учестаност него они о којима смо малочас говорили: број трептада достиже код тих »надзвучака« или »ултразвучака« до 700.000 у секунди. Такав је »тон« приближно за 18 октава виши од највишег клавирског »ла«, — тона који даје 3.480 трептада у секунди.

Добијање ултразвучних трептада заснива се на својству плочице — које се на нарочити начин режу из кристала кварца — да се под притиском електризују на својим површинама.⁸² Ако се, међутим, периодично набија површина такве плочице, онда се она под дејством електричних набоја наизменично скупља и шири, тј. трепери: добијају се ултразвучна (надзвучна) треперерења. Плочица се набија помоћу лампе-генератора који се употребљује у радиотехници и чија се фреквенција изабре тако да одговара такозваној »сопственој« периоди треперерења плочице.

Ултразвуци, ако се и не чују, манифестишу своје дејство другим појавама које се веома јасно примећују. Ако, на пример, плочицу која трепери загњуримо у посуду с маслом, онда ће се на површини течности, која је захваћена ултразвучним треперерењима, издиги испуоччење високо до 10 цм; а капљице масла ће се распрскавати до висине од 40 цм. Ако у такву посуду с маслом загњуримо један крај стаклене цеви дугачке један метар, осетићемо у руци, на другом крају цеви, јаку опекотину, која оставља траг на кожи. Ако тај крај цеви, која се налази у стању треперерења, додирује дрво, он ће у дрвету прогорети рупицу: ултразвучна енергија претвара се у топлотну. Висока треперерења примењују се за збијање бетона итд.

Ултразвуке данас брижљиво испитују совјетски и инострани истраживачи. Та треперерења показују снажно дејство на живи организам: нити воденог растиња кидају се, животињске ћелије прскају, крвна зрица се ра-

⁸² То се својство кристала назива пјезоелектрицитетом.

зарају; мале рибе и жабе гину од ултразвукса за једну до две минуте, температура тела испитиваних животиња се повећава, — код миша, на пример, до 45° Ц. У своје време ултразвучна треперења играће вероватно значајну улогу у медицини; нечујни ултразвучи делиће судбину невидљивих ултравиолетних зрака, долазећи у помоћ медицини.

Техника већ и у садашње време искоришћује ултразвуке. Помоћу њих се дају у магловитом времену лађама упозоравајући подводни сигнали са обале. Они се искоришћују за изналажење непријатељских подморница.

Нарочито успешно примењују се ултразвучи у металургији за изналажење неједнородности, школка, пукотина и томе сличних недостатака у металној маси. Метод »просветљавања« метала ултразвуком, који је разрадила наша централна радио-лабораторија, састоји се у томе да се испитивани метал намаже маслом и подвргне дејству ултразвучних треперења. Звук се разбија на неједнородним деловима метала, који бацају као неку звучну сенку; слика неједнородности се оцртава тако јасно на равномерно набраној површини, која покрива масни слој, да се добијена слика може чак и фотографисати.

Ултразвуком се може »просветлити« и метал који је дебљи од једнога метра, — што се не може постићи рентгенским просветљавањем; притом се установљавају весма мале неједнородности — до једног милиметра. Нема сумње да се пред ултразвучним треперењима отвара широка перспектива.

Гласови Лилипутанаца и глас Гуливера

У совјетском филму »Нови Гуливер«, Лилипутанци говоре високим гласовима, који одговарају малим размештјима њихових грла, а див Пећа — ниским гласом. Приликом снимања, за Лилипутанце су говорили одрасли уметници, а Пећу је играло дете; како је била постигнута потребна промена у тону гласа? Био сам веома зачућен када ми је режисер Птушко рекао да су глумци говорили својим природним гласовима; промена тона постизала се, међутим, у процесу снимања оригиналном методом, која се заснива на физичким особеностима звука.

Да би гласови Лилипутанаца били високи, а Гуливеров глас низак, режисер је гласове глумаца који су играли Лилипутанце бележио при у спореном кретању филмске врпце, а глас Пећин, напротив, при њеном убрзаном кретању. Слика се пројцира на екран нормалном брзином. Није тешко схватити шта се услед тога мора догодити. Слушаоци чују гласове Лилипутанаца са учестаним низањем звучних титраја у односу на нормално; због тога и њихов тон мора постати виши. А Пећин се глас, напротив, чује при у спореном смењивању треперења, и његов тон, према томе, мора постати нижи. Резултат је да Лилипутанци у »Новом Гуливеру« говоре гласом који је за квинтувиши од гласа нормалног одраслог човека, а сам Гуливер — Пећа — гласом који је за квинту испод нормалног тона.

Тако је оригинално искоришћена »лупа времена« за звук. Та се појава често запажа када се грамофонска плоча окреће брзином већом или мањом од нормалне (78 окретаја у минути).

За кога дневне новине излазе два пута на дан?

Сада ћемо се позабавити питањем које, на први поглед, нема никакве везе ни са звуком ни уопште са физиком. Али ћу вас ипак замолити да му поклоните пажњу: оно ће вам помоћи да даља излагања јасније схватите.

Вероватно сте се с тим питањем већ сусретали у некој од његових многобројних модификација. Из Лењинграда за Владивосток полази воз сваког дана у подне (тако није, али замислим да јесте). И сваког дана у подне креће воз из Владивостока за Лењинград. Путовање траје, претпоставимо, 20 дана. Пита се: колико ћете возова сусрести за време путовања из Владивостока у Лењинград?

Људи најчешће одговарају: 20. Тако су одговорили чак и неки научници, када је на Конгресу математичара један од њих за доручком поставио тај задатак осталима.

Међутим, одговор је неправilan: нећете срести само 20 возова који ће кренути из Лењинграда после вашег одласка, него и оних 20 који су се у часу вашег поласка већ налазити на путу. Према томе, правilan одговор је 40, а не 20.

Даље. Сваки лењинградски воз носи последње бројеве престоничких новина. И ако вас интересују новости из Лењинграда, ви ћете, разуме се, на станицама куповати новине. Колико ћете бројева купити за 20 дана путовања?

Сад вам неће бити тешко да правилно одговорите: 40. Сваки воз који сусрећете носи нови број новина, а како ћете ви сусрести 40 возова, то ћете прочитати такође и 40 бројева. Путујете свега 20 дана, — значи да ћете дневни лист имати два пута на дан.

Закључак мало неочекиван, и ви у то, можда, не бисте одмах поверовали, да вам се није дешавало да се практично уверите у његову правилност. Сетите се, на пример, да сте за време дводневног путовања из Севастопоља за Лењинград имали лењинградске новине не за два, него за четири дана: она два броја која су већ изашла у Лењинграду у часу вашег поласка, и још два броја која изиђу у току вашег дводневног путовања.

Дакле, сад знате за кога дневне престоничке новине излазе два пута на дан: за путнике у свима возовима који се возе у престоницу.

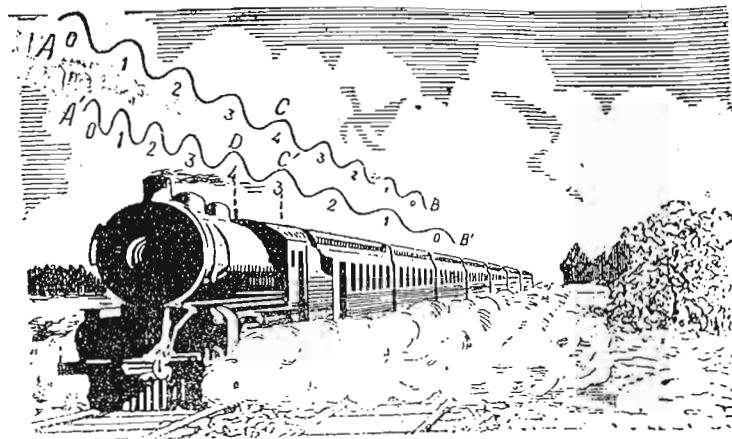
Задатак о звијдању локомотиве

Ако имате развијен слух, онда сте приметили, вероватно, како се мења тон (не јачина, него баш тон, његова висина) звијдука локомотиве када поред вашег воза пролази воз који вам иде у сусрет. Док су се возови приближавали, тон је био знатно виши од оног који се чује кад се возови удаљују један од другога. Ако се возови крећу брзо (50 км на сат), разлика у висини звука достиже скоро цео тон.

Због чега се то дешава?

Неће вам бити тешко да докучите узрок, ако се сетите да висина тона зависи од броја титраја и ако то упоре-

дите са оним што сте сазнали при расправљању претходног задатка. Локомотива која се креће у сусрет звијди стално једнаким звуком, који има одређен број титраја. Али ви уво прима различит број титраја, што зависи од тога да ли се крећете у сусрет, да ли стојите на месту, или се удаљујете од извора треперења.



Сл. 159. Задатак о звијдању локомотиве. Горе су звучни таласи које испушта непокретна локомотива, доле — које пушта локомотива која се креће с лева у десно

И слично као кад, путујући у Лењинград, читате дневни лист чешће него једанпут дневно, тако и овде, приближујући се извору звука, хватате треперења чешће него што она излазе из писка локомотиве. Али ви ту не размишљате: ви уво добија већи број треперења, — и ви непосредно чујете повишен тон. Удаљујући се, ви добијате мањи број треперења — и чујете снижен тон.

Ако вас ово објашњење није коначно убедило, покушајте да непосредно пратите (наравно у мислима) како се шире звучни таласи од писка локомотиве. Размотрите најпре непокретну локомотиву (сл. 159). Писак производи ваздушне таласе, и ми ћемо размотрити, ради једноставности, само 4 таласа (види горњу таласасту

линију): сни ће успети да се од непокретне локомотиве рас прострују у извесном временском размаку на исту удаљеност у свима правцима. Талас бр. 0 стићи ће до посматрача *A* за исто време као и до посматрача *B*; затим ће до оба посматрача истовремено стићи талас бр. 1, бр. 2, затим бр. 3 итд. Уши оба посматрача добиће у једној секунди исти број удаваца, и оба ће чути исти тон.

Друга је ствар ако се локомотива која звијжи креће од *B* према *A* (доња таласаста линија). Нека се у извесном тренутку писак налази у тачки *C'*, а за време док испусти четири таласа он већ стигне у тачку *D*.

Сад упоредите како ће се ширити звучни талаои. Талас бр. 0, који је кренуо из тачке *C'*, стићи ће у исто време до оба посматрача *A'* и *B'*. Али четврти талас, који се ствара у тачки *D* неће више до њих стићи истовремено: пут *DA'* је мањи од пута *DB'* и према томе до *A'* стићи ће пре него до *B'*. Таласи који су у међувремену настали — бр. 1 и бр. 2 — такође ће у *B'* стићи касније него у *A'*, али ће закашњење бити мање. Шта ће се десити? Посматрач у тачки *A'* примаће звучне таласе чешће него посматрач у тачки *B'*: први ће чути виш и тон него други. Заједно с тим — као што се лако види из цртежа — дужина таласа који се крећу у правцу тачке *A'* биће у одговарајућој мери краћа од таласа који се крећу према *B'*.⁸³

Доплерова појава

Појаву коју смо сада описали открио је физичар Доплер, и она је заувек остала везана за име тога научника. Она се запажа не само код звука, него и код светлосних појава, јер се и светлост простира у таласима. Повећавање учестаности таласа (које се код звучних таласа опажа као повишење тона) чини се оку као промена боје.

⁸³ Мора се имати у виду да таласасте линије на цртежу уопште не дају слику форме звучних таласа: трепереве честице у ваздуху дешава се дуж правца звука, а не попреко. Таласи су ту нацртани као попречни (трансверзални) само ради прегледности.

Доплерово правило пружа астрономима чудесну могућност да не само установе да ли се звезда приближује или се удаљује од нас, него омогућује како да се измери брзина њеног кретања.

При томе је астроному од помоћи бочно померање тамних линија, које пресецају вргац спектра. Пажљиво проучавање на коју су се страну и колико помериле тамне линије у спектру небеског тела, омогућило је астрономима да изврше цео низ дивних открића. Тако, захваљујући Доплеровој појави, ми сада знамо да се светла звезда Сириус удаљује од нас сваке секунде за 75 км. Та звезда налази се удаљена од нас на таквом невероватно огромном растојању да удаљавање чак и на милијарде километара не мења приметно њен видљиви сјај. Ми вероватно не бисмо никада сазнали за кретање тога небеског тела да нам није помогла Доплерова појава.

На овом примеру види се, са изненађујућом очигледношћу, како је физика уистини с веобухватна наука. Попшто је утврдила закон о звучним таласима, чија дужина достиже до неколико метара, она га примењује на бескрајно мале светлосне таласе, који су дуги свега неколико десетхиљадитих делова милиметра, и искоришћује то знање да би мерила вртоглава кретања циновских сунца у невероватним даљинама висионе.

Прича о једној казни

Када је Доплер први пут (1842 г.) дошао на мисао да међусобно приближавање или удаљавање посматрача и звучног или светлосног извора мора бити праћено променом дужине приманих звучних или светлосних таласа, он је изразио смелу претпоставку да се баш у томе крије узрок због кога су звезде разне боје. Све су звезде, мислио је он, саме по себи беле боје. Међутим, многе од њих изгледају обожене стога што се брзо крећу у односу на нас. Беле звезде, које се брзо приближавају, шаљу посматрачу на Земљи скраћене светлосне таласе, које он запажа као зелене, плавичасте или љубичасте; напротив, беле звезде, које се брзо удаљују, изгледају нам жуте или црвене.

То је била оригинална, али несумњиво погрешна мисао. Да би око могло приметити промену боје звезда, условљену кретањем, морале би пре свега звезде имати огромне брзине — десетинама хиљада километара у секунди. Али би се и то показало недовољно: ствар је у томе што се истовремено са претварањем, на пример плавих зрака у љубичасте, од беле звезде која се приближава, и њени зелени зраци претварају у плаве, а на место ултравиолетних долазе љубичасти, на место црвених — инфрацрвени; једном речи, саставни делови белога светла постоје и даље сви заједно, тако да око, без обзира на опште померање свих боја спектра, не би приметило никакве промене у боји звезде.

Друга је ствар — померање тамних линија у спектру звезда које се крећу у односу на посматрача: та се померања хватају тачним инструментима и омогућују да се одреди брзина кретања звезда по видном зраку. (Добар спектроскоп установљава чак и такву брзину звезда која износи свега 1 км у секунди.)

Чувени савремени физичар Вуд сетио се ове Доплерове заблуде када га је полицајац хтео да казни зато што није зауставио аутомобил иако је црвеним сигналом дат знак за то. Вуд је, како се прича, почeo тада да уверава чувара поретка да се при броју вожњи у сусрет сигналу црвена боја запажа као зелена. Да је полицајац знао физику, он би могао израчунати да би аутомобил, ако би научникove речи биле тачне, морао јурити невероватном брзином од 135 милиона километара на сат.

Ево тог рачуна: Ако са l означимо дужину светлосних таласа, који полазе из светлосног извора (у датом случају — сигнална лампа), а са l' дужину таласа које прима посматрач (професор у аутомобилу), са v — брзину аутомобила, а са c — брзину светlosti, онда је однос између тих величина, које је теорија установила, овакав:

$$\frac{l}{l'} = 1 + \frac{v}{c}$$

Кад знамо да најкрачи талас, који одговара црвеној боји, износи 0,0063 милиметра, а најдужи талас зеленог светла

износи 0,0056 мм, унећемо те величине у формулу. Брзина светlosti нам је такође позната: 300.000 км у секунди. Према томе имамо

$$\frac{0,0063}{0,0056} = 1 + \frac{v}{300.000},$$

одакле је брзина аутомобила:

$$v = \frac{300.000}{8} = 37.500 \text{ км}$$

у секунди, или 135.000.000 километара на сат. Са таквом би се брзином Вуд за нешто више од једног сата одвезао од полицајца даље него до Сунца. Прича се да је ипак био кажњен »за недозвољену брзину«.

Брзином звука

Шта бисте чули ако би се брзином звука удаљавали од оркестра који свира?

Човек који из Лењинграда путује поштанским возом види на свима станицама код продајача новина исте бројеве новина — и то баш оне који су изишли на дан његовог поласка. То је и разумљиво, јер тај број новина иде заједно са путником, а свеже новине преносе се воловима који иду иза њега. На основу тога се, вероватно, може закључити да бисмо, удаљујући се од оркестра брзином звука, стално чули једну исту ноту, коју је оркестар отсвирао у полазном тренутку нашег кретања. Међутим, тај закључак није тачан. Ако се удаљавате брзином звука, онда звучни таласи, остајући у односу на вас у мировању, не ударaju у опште у вашу бубну спну, па према томе не можете чути никаквога звука. Ви бисте мислили да је оркестар престао да свира.

Али, зашто је упоређење са новинама довело до другог одговора? Просто због тога што смо у овом случају неправилно применили закључак по сличности (анalogiju). Путник, који свуда наилази на једне исте новине могао би уобразити, кад би заборавио на своје кретање,

да су у престоници потпуно престали да излазе нови бројеви од дана његовог одласка. За њега би новинска издања престала да постоје, као што би престали да постоје звуци за слушаоца који се креће брзином звука.

Интересантно је да се у том питању понекад могу заплести чак и научници, — ма да у суштини оно није тако компликовано. У препирци са мном — тада сам још био ученик — један астроном, сада покојни, није прихватао такво решење горњег проблема и тврдио је да бисмо, удаљујући се брзином звука, морали чути стално један исти тон. Он је следећим расуђивањем доказивао да је у праву (наведим одломак из његовог писма):

»Нека звучи нота извесне висине. Она је звучала тако од давних времена и звучаће неодређено дugo. Посматрачи, који се налазе на разним местима у простору, чују је сваки на своме месту и, претпоставимо, сваки једнако јасно. Зашто је ви не бисте могли чути, ако бисте се брзином звука или чак брзином мисли пренели на место било кога од тих посматрача.«

Тако је он доказивао такође да би посматрач који се удаљује од муње брзином светlosti — непрекидно видео ту муњу:

»Замислите, — писао ми је он, — непрекидни низ очију у простору. Свако ће око добијати светлосни утисак после претходног; замислите да се ви можете налазити сукцесивно на месту сваког од тих очију, — и ви ћете, очевидно, стално видети муњу.«

Разуме се, ни једно ни друго тврђење није тачно: под обаквим условима нећemo ни звук чути ни видети муњу. То се види, између остalog, и из формуле на стр. 292; ако се узме да је $v = c$, добиће се да је дужина таласа који се спажа — бесконачна, што је истоветно са отсуством таласа.

*

»Занимљива физика« је завршена. Ако је она код читаоца побудила жељу да се ближе упозна са неизмерном облашћу науке из које је узета ова шарена прогршт најпростијих знања, онда је писац испунио свој задатак и постигао циљ.

СТО ПИТАЊА

УЗ ДРУГУ КЊИГУ »ЗАНИМЉИВЕ ФИЗИКЕ«

1. Може ли се из балона приметити како се окреће земљина кугла?
2. Пада ли окомито доле камен који испусти из руке авијатичар за време лета?
3. Може ли се удесити да путници без опасности напуштају воз у пуном кретању?
4. Када ледоломац разбија кљуном лед, да ли је његово дејство равно противдејству леда?
5. Зашто узлеће ракета? Да ли би залеђена ракета узлетела у безвоздушном простору?
6. Да ли постоје животиње које се крећу као ракете?
7. Да ли се увек дешава да силе које делују у разним правцима не производе никаквог кретања?
8. Зашто је свод јачи него раван плафон?
9. Како ветар покреће једрењачу?
10. Да ли би се могла подићи земљина кугла помоћу дугачке полuge и тачке ослонца?
11. Чиме се објашњава то што чвор чврсто држи свезане врпце?
12. Да ли би узлови користили кад не би било трења?
13. Наведите користи и незгоде од отсуства трења.
14. Када се четка за под налази у равнотежи на наслону од столице, који је њен део тежи: краћи или дужи?
15. Зашто се не преврне чигра која се окреће?
16. Када се не просипље вода из изврнуте чаше?
17. Када се слободна кугла не котрља низ стрмину?

18. Где је сила теже већа: у Лењинграду или у Москви?
19. Зашто не примећујемо узајамно привлачење предмета собног намештаја?
20. Колико бисте могли скочити у дужину на Месецу?
21. На коју би висину узлетео на Месецу метак из савремене пушке, испаљен вертикално увис? Почетна брзина метка је 900 м/сек.
22. Ако би се пробушила земљина кугла по дијаметру и ако би се у окно бацио тег, где би се тег зауставио кад не било отпора ваздуха?
23. Како треба пробијати тунел кроз планину да га вода од киша не би плавила?
24. Може ли се са земље бацити тело тако да оно не падне на земљину површину?
25. У којим водама на територији СССР неће потонути човек који не уме да плива?
26. Како ледоломац ломи лед?
27. Да ли потонули бродови стижу до дна океана?
28. На основу кога је физичког закона извучен из мора »Садко«?
29. Ко је увео у руски језик речи »гас«, »материја«, »атмосфера«, »барометар«?
30. У чему се састоји »задатак о басенима« и да ли се он правилно решава у школским уџбеницима аритметике?
31. Може ли се удесити да течност тече из посуде увек подједнако јаким млазом?
32. Да ли би се раставиле »магдебуршке полукугле« кад их не би вукло са сваке стране по 8 коња, него по 8 слонова, рачунајући да је слон пет пута јачи од коња?
33. Чиме се објашњава дејство пулверизатора?
34. Зашто се узајамно привлаче два брода који плове упоредо?
35. Док риба плива, какву улогу игра њен мехур?
36. Које се две врсте тока течности разликују у физици?
37. Зашто се ковитла дим из фабричког димњака?
38. Зашто се лепрша застава на ветру?
39. Зашто се на пустињском песку стварају таласи?

40. На колико је метара потребно попети се у атмосферу да би се њен притисак смањио за хиљадити део?
41. Да ли важи Мариотов закон под притиском од 500 атмосфера?
42. Да ли термометар показује у ветровито време нижу температуру него што би показивао кад не би било ветра?
43. Зашто се у ветровито време хладноћа теже подноси него у тихо?
44. Да ли увек при топлом времену ветар расхлађује?
45. На чему се заснива дејство расхлађујућег бокала?
46. Како ће се направити ормар за хлађење без употребе леда?
47. Да ли наш организам може подносити топлоту од 100° ?
48. Зашто се лакше подноси врућина од 36° у Ташкенту, него у Лењинграду од 24° ?
49. Чему служи цилиндар на петролејској лампи?
50. Зашто производи горења не гасе пламен петролејске лампе или свеће?
51. Како би горео пламен кад не би било силе теже?
52. Како би се на примусу загрејавала вода кад не би било теже?
53. Зашто вода гаси ватру?
54. На чему се заснива гашење пожара у степи паљењем траве?
55. Да ли ће проврети чиста вода у посуди која се загрејава врелом водом?
56. Да ли ће се смрзнути вода у боци која је загњујена у смесу воде са ледом?
57. Може ли вода кључати на собној температури?
58. Како се помоћу термометра одређује атмосферски притисак?
59. Да ли има врелог леда?
60. Који су магнети јачи: природни или вештачки?
61. Које метале, осим гвожђа, привлачи магнет?
62. Постоје ли метали које снажан магнет одбија?
63. Да ли делује магнет на течности и гасове?
64. Какву техничку примену има дејство магнета на Волтин лук?

65. Да ли већом снагом привлачи магнет гвожђе или гвожђе магнет?
66. Које чуло осећа дејство магнетске силе?
67. Да ли се електромагнетском дизалицом могу дигати комади усијаног гвожђа?
68. Зашто је златан сат штетно приближити јаком магнету? За какав је сат то безопасно?
69. Шта је то радиумов сат? Може ли се он назвати »вечним покретачем«?
70. Како се на основу радиоактивног распадања одређује старост земље?
71. Зашто птице без опасности стоје на жицама вода високог напона?
72. Колико времена траје муња?
73. Под којим углом треба поставити два огледала један према другоме да би се у њима предмет седам пута огледао?
74. Каква је разлика између сунчаног покретача и сунчаног грејања?
75. Шта је то »хелиотехника«?
76. Зашто је код риба очно сочиво као кугла?
77. Може ли човек, кад се затњури под воду, читати слова из књиге?
78. Ко боље разазнаје предмете испод воде: гњурац са шлемом на глави, или човек који рони без шлема?
79. Може ли с обе стране испупчена леђа служити као умањавајуће стакло, а с обе стране удубљена — као повећавајуће стакло?
80. Зашто дно рибњака изгледа као да је издигнуто?
81. Шта је то »границни угао«?
82. Шта је »пуно одбијање«?
83. Да ли је рибама корисна њихова сребрнаста боја?
84. Шта је »слепа пега« у нашем оку? Ќако ћемо се уверити да она постоји?
85. Шта је видни угао?
86. На коме растојању од ока треба држати новчић од једне колејке, да би он покрио пун Месец?
87. Колико се шире странице угла од $1'$ на растојању од 10 метара од врха?

88. Дијаметар Јупитера је приближно 10 пута већи од дијаметра Земље. На коме се растојању од нас налази та планета када се њен диск види под углом од $40''$?
89. Како треба разумети израз: »микроскоп повећава 300 пута, »телескоп приближава 500 пута.«
90. Зашто се на биоскопским сликама аутомобилски точкови често окрећу назад, кад аутомобил јури напред?
91. Може ли се удесити да точак који се брзо окреће видимо као да се зауставио?
92. Је ли тачно да зец види предмете иза себе а да не окреће главе?
93. Је ли тачно да су »ноћу све мачке сиве?«
94. Шта се дуже преноси: радио сигнал, или звук у ваздуху?
95. Шта се брже креће: пушчани метак, или звук пущња?
96. Каква звучна треперења не осећа наше уво?
97. Да ли безвучни звуци имају техничку примену?
98. Шта је то »звукни облак«?
99. Како се мења тон звијђања локомотиве која се приближава?
100. Шта бисмо чули кад бисмо се брзином звука удаљавали од оркестра?

ШТА ЈОШ ТРЕБА ЧИТАТИ

»Занимљива физика« није написана зато да би читаоца који се интересује за физику оставила задовољена. Напротив, она тежи да изазове жеђ за знањем, да створи вољу за даље читање. Надам се да је моја књига постигла тај циљ, и стога наводим овде преглед приступачних књига које ће читаоца увести у област физике дубље него што је то могло учинити ово дело.

- Ш. Гијом. Увод у механику (има неколико руских издања).
- Г. Тимердић. Закони падања.
- К. Л. Бајев. Гравитација, 1936.
- Н. Турини. У тражењу тачности, 1935.
- А. Павша. Центрифугална сила, 1930.
- Д. Переи. Чигра, 1936.
- Ф. Ихар-Рубинер. Вечни покретач.
- Н. Андрејев. Закон чувања енергије, 1920.
- Ј. Перељман. Занимљива механика, 1935.
- М. Ј. Пиотровски. По индустриским радионицама:
 - Део I. Обрада дрвета. Столарски и дрводељски посао, резарија и дуборез, 1926.
 - Део II. Обрада метала. Ковачки, браварски и лимарски посао, 1927.
- Д. Д. Бизјукин. На железничкој станици, 1924.
 - (На незаслужено заборављене књиге проф. Пиотровског и инж. Бизјукина, које приказују физику дрводељског, ковачког и жељезничког посла, обраћам пажњу не само читалаца, него и издавача.)
- Т. Бек. Огледи из историје израде машина, 1933.
- Г. Дилиц. Античка техника, 1934.
- О. А. Ривош. Теориска механика, 1936.
- А. Риковљев. Водени покретачи и електрификација, 1928.
- Т. Бобрички. Освајање дубина, 1932.

- В. Дембовецки. Кратка теорија брода, 1932.
- Л. Антонов. Најновији навигациони инструменти, 1934.
- В. Шульејкин. Физика мора.
- Ч. Војс. Сапунски мехури, 1922.
- П. Ширманов. Курс аеродинамике, 1936.
- В. Васильев. Аеронаутика, 1930.
- К. Вајгелин. Занимљива авијација, 1934.
- Г. Миклашевски. Пратилац младог градитеља авиона, 1936.
- Кладо и Свјатски. Занимљива метеорологија, 1934.
- Ч. П. Дарлинг. Капљице, вљахово стварање и кретање, 1937.
- М. Шасколовска. Кристали, 1945.
- Н. Каљитин. Основи физике атмосфере, 1935.
- К. Леонтијев. Температура и њено мерење, 1918.
- Н. Ламбин. Термометри, 1933.
- Б. Вайнберг. Снег, иње, град и ледници, 1936.
- Б. Вайнберг. Сунце — извор механичке и топлотне енергије, 1934.
- Т. Каменишћиков. Парне машине, 1926.
- С. Баранов. Модели топлотних машина у употреби, 1936.
- В. Виноградов. Физички принципи конструкције уређаја за грејање, 1927.
- Б. Веденски. Стални магнети и вљахова израда, 1922.
- Д. Сахаров. Помоћ ономе ко »слабо разуме« електрицитет, 1935.
- Д. Сахаров. Електрична лампа и физички експерименти с њом, 1932.
- В. Брег. Историја електромагнетизма, 1947.
- В. Сибер. Загонетке електрицитета, 1926.
- Д. Галањин. Телеграф, 1926.
- Ф. Фридман. Електрично осветљење, 1926.
- В. Фридман. Електрични трамвај, 1926.
- А. Кулаков. Бура, град и заштита од њих, 1931.
- В. Брег. Свет светlostи, 1935.
- Р. Хаустен. Светlost и боје, 1935.
- Н. Нидерг. Курс науке о бојама, 1932.
- Л. Белкинд. Увод у светлосну технику, 1935.
- М. Лекиш. Светlost и рад, 1934.
- Ј. Перељман. Обмаје вида, 1924.
- В. Хаљевски. Светлосне појаве у атмосфери, 1930.
- В. Брег. Свет звука, 1927.
- А. Вуд. Звучни таласи и њихове примене, 1934.
- С. Ржавкин. Методе испитивања шумова.
- С. Ржавкин. Слух и говор, 1928.
- В. Брег. У свету атома и молекила, 1926. (Постоји и други превод под насловом »О природи ствари«.)
- Д. Томсон. Атом, 1932.
- Л. Богојављенски. Радиум, како се добија и мери, 1933.
- И. Петранов. Како је измерен атом, 1935.
- М. Бронштајн. Атоми, електрони, језгра, 1935.
- М. Бронштајн. Грађа материје.
- А. Казаченко. Електрон, 1934.
- О. Хволсон. Физика наших дана, 1932.

- В. Брег. Стара техника и нова знања, 1928.
 М. Пијоторовски. Физика на летњим екскурзијама, 1922.
 М. Пијоторовски. Физика на отвореном ваздуху, 1924.
 В. Сибер. Живи задаци из физике. Део I и II, 1925 и 1926.
 В. Вуков. Физика и одбрана земље, 1934.
 Ј. Перељман. Физика на сваком кораку, 1936.
 Ј. Перељман. Да ли је знајете физику? 1935.
 Д. Блохицев. Шта је теорија релативитета, 1936.
 В. Н. Бакушкински. Теорија релативитета, 1936.

Од уџбеника физике који су потпунији него школски уџбеници, а који су ипак приступачни читаоцу са средњом спремом, наведу књиге Добронравова, Фредерикса, Пијоторовског, Берлинера, Сондерса, Гримзела, Ноултона. Од збирки задатака заслужује нарочиту пажњу књига »Задаци и питања из физике« од Цингера.

Часописи: »Математика и физика у школи«, »Наука и живот«, »Техника омладине«.

САДРЖАЈ

	Страна
Предговор тринадестом издању	7
ГЛАВА ПРВА	
Основни закони механике	9
Најјефтинији начин да се путује	9
»Земљо, заустави се!«	11
Писмо са авиона	14
Бомбардовање	15
Железница која се не зауставља	16
Улице будућности	19
Спречавање катастрофа	20
Недокучиви закон	21
Зашто је погинуо витез Свјатогор?	23
Може ли се кретати без ослонца?	24
Зашто полеће ракета?	25
Како се креће сепија?	28
На ракети пут звезда	29
ГЛАВА ДРУГА	
Сила. Рад. Трење	32
Задатак о штуки	32
Насупрот Крилову	34
Да ли је лако сломити љуску од јајета?	36
Са једрима насупрот ветру	38
Да ли је Архимед могао подићи земљу?	40
Жил-Вернов атлета и Ајлерова формула	42
Од чега зависи јачина узлова	45
Кад не би било трења	46
Физички узрок катастрофе Чељускина	48
Палица која сама долази у равнотежу	51
ГЛАВА ТРЕЋА	
Кружно кретање	54
Зашто не пада чигра када се окреће	54
Вештина жонглера	56
Ново решење Колумбовог задатка	58

	Страна
Уништена тежина	59
Ви у улози Галилеја	62
Мој спор са вама	63
Крај нашега спора	64
У зачараној кугли	65
Течни телескоп	68
»Вавоља петља«	69
Математика у циркусу	72
Мањак у тежини	74
 ГЛАВА ЧЕТВРТА	
Гравитација	77
Да ли је велика привлачна сила?	77
Челични конопац од Земље до Сунца	80
Може ли се скрити од силе привлачења?	81
Како су Велсови јунаци полетели на Месец	82
Пола часа на Месецу	83
Гађање на Месецу	85
У бунару без дна	87
Пут из бајке	89
Како се буше тунели?	91
 ГЛАВА ПЕТА	
Путовање у топовском метку	93
Њутнова планина	93
Фантастични топ	95
Тешки шешир	96
Како да се ослаби ударац?	97
За пријатеље математике	99
 ГЛАВА ШЕСТА	
Својства течности и гасова	101
Море у коме се не може потонути	101
Како ради ледоломац	104
Где се налазе потонули бродови?	106
Подводне фабрике	108
Како су се остварила маштања Жил-Верна и Велса	109
Како је подигнут »Садко«?	113
»Вечни« водени покретач	115
Ко је измислио речи »газ« и »атмосфера«?	117
На изглед прост задатак	118
Задатак о басену	119
Чудновата посуда	121
Бреме из ваздуха	122
Нови Херонови водоскоци	125
Варљиве посуде	128
Колико је тешка вода у преврнутој чаши?	129
Због чега се привлаче бродови?	130
Бернулијево начело и његове последице	133

	Страна
Сврха рибљег меухура	136
Таласи и вихори	138
Путовање у земљину утробу	143
Фантазија и математика	144
У најдубљем окну на свету	148
Пут у висину са стратостатима	150
 ГЛАВА СЕДМА	
Топлотне појаве	152
Лепеза	152
Зашто је на ветру хладније?	153
Врели дах пустине	154
Греје ли вео	155
Бокали који расхлађују	155
Ледњаче без леда	156
Коју топлоту можемо да поднесемо?	157
Термометар или барометар?	158
Каква је улога цилиндра за лампе?	159
Зашто се пламен не гаси сам од себе?	160
Глава која не достаје у роману Жила Верна	161
Доручак у кухињи без тежине	162
Зашто вода гаси ватру?	167
Како се гаси ватра помоћу ватре?	167
Може ли вода проврети од кључале воде?	170
Може ли вода проврети од снега?	171
»Супа од барометра«	173
Да ли је кључала вода увек врела?	175
Врели лед	177
Хладноћа из угља	178
 ГЛАВА ОСМА	
Магнетизам — електрицитет	180
»Камен љубави«	180
Задатак о компасу	181
Линије магнетских сила	182
Како се магнетише челик?	184
Циновски електромагнети	185
Вештине са магнетом	187
Магнет у фискултури	188
Магнет у земљорадњи	189
Магнетска машина за летење	190
Слично »Мухамедовом гробу«	191
Електромагнетски транспорт	193
Битка Марсоваца са становницима Земље	196
Сат и магнетизам	198
Магнетски »Вечни покретач«	199
Музејски проблем	200
Још о замишљеном вечном покретачу	201
Скоро вечни покретач	202

	Страна		Страна
Земљина старост	204	Најбржим путем	280
Птице на електричним водовима	207	Бубањ као телеграф	281
При светлости мунје	208	Звучни облаци и ваздушни ехо	282
Колико кошта мунја?	209	Беззвучни звуци	284
Пљусак у соби	210	Ултра звуци у служби технике	285
ГЛАВА ДЕВЕТА			
Одбијање и преламање светлости. Вид			
Петоструки снимак	213	Гласови Лилипутанаца и глас Гуливера	286
Сунчани покретачи и грејалице	215	За кога дневне новине излазе два пута на даљ?	287
Сан о чаробној капици	217	Задатак о евиђдању локомотиве	288
Невидљиви човек	218	Доплерова појава	290
Моћ невидљивог	221	Прича о једној казни	291
Провидни препарати	222	Брзином звука	293
Да ли невидљиви човек може видети?	224	Сто питања уз другу књигу »Занимљиве физике«	295
Заштитна боја	225	Шта још треба читати	300
Вештачка заштитна боја	227		
Човечје око испод воде	228		
Како виде гњурци?	230		
Стаклена сочива под водом	230		
Неискусни купачи	231		
Невидљива чиода	234		
Свет испод воде	236		
Боје у воденим дубинама	241		
Слепа пега у нашем оку	242		
Колика нам изгледа површина Месеца?	244		
Видне размере звезда	247		
Сфинкс (прича Едгара Иоа)	250		
Зашто микроскоп повећава?	253		
Видне самообмане	257		
Илузија корисна за кројаче	258		
Шта је веће?	258		
Снага уобразиље	259		
Још о оптичким обманама	261		
Шта је то?	263		
Необични точкови	265		
»Микроскоп времена« у технички	267		
Диск Нипкова	269		
Зашто је зец разрок?	271		
Зашто су у мраку све мачке сиве?	272		
Постоје ли хладни зраци?	273		
ГЛАВА ДЕСЕТА			
Звук. Таласасто кретање			
Звук и радиоталаси	275		
Звук и метак	276		
Тобожња експлозија	276		
Срећна слушајност	278		
Најспорији разговор	279		