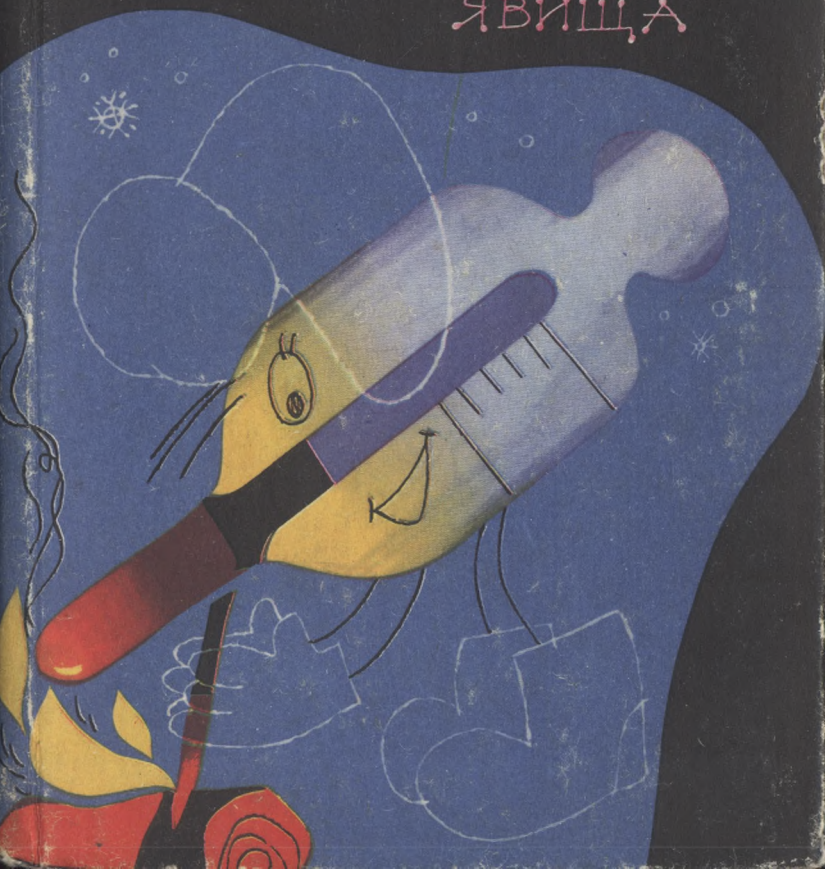
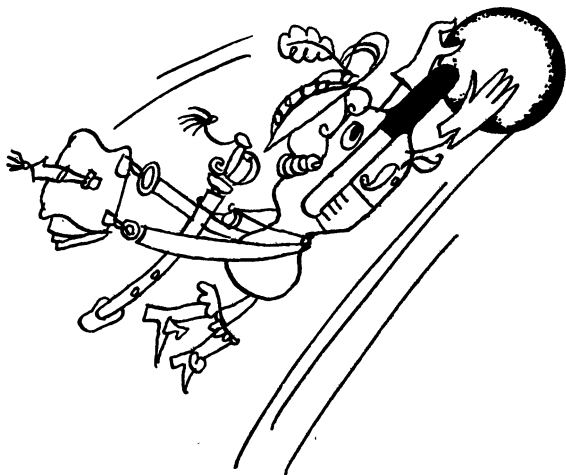


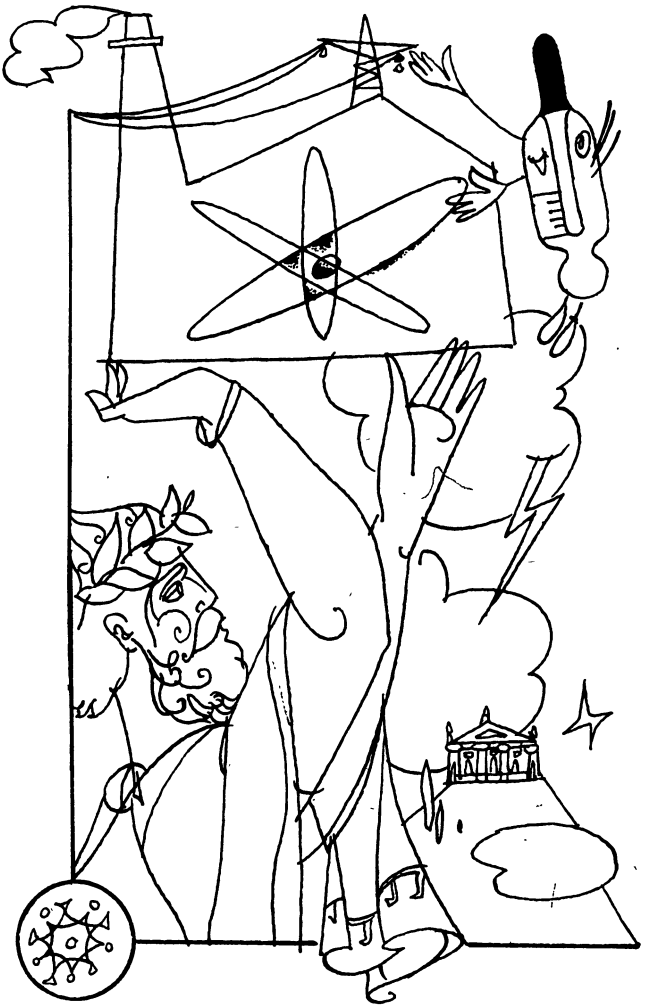
С.У. ГОНЧАРЕНКО

7
КЛАС

КНИЖКА
ДЛЯ ЧИТАННЯ
З ФІЗИКИ ✧ ТЕПЛОВІ
ЯВИЩА







Передмова

У цій книжці йдеться про теплові явища, які відіграють надзвичайно велику роль у нашому житті. Без теплової дії Сонця життя на Землі було б неможливим. Десятки тисяч років тому людина навчилася штучно добувати й підтримувати вогонь. Це було визначним відкриттям, яке дало змогу людині зігріватися в зимовий холод, варити їжу, а згодом добувати деякі метали з руд.

З часом люди навчилися використовувати дію пари. Було створено парову машину, паровоз, пароплав. Надзвичайно важливе значення для розвитку техніки мало винайдення способу перетворення внутрішньої енергії, яка виділяється внаслідок згоряння палива, в електричну. На атомних електростанціях за допомогою теплових двигунів в електричну перетворюється енергія, яка виділяється внаслідок розпаду ядер урану.

Винайдення двигунів внутрішнього згоряння дало змогу створити автомобілі й літаки, без яких важко уявити нині сучасне життя. Тепловими двигунами є й двигуни ракет, за допомогою яких запускають космічні кораблі.

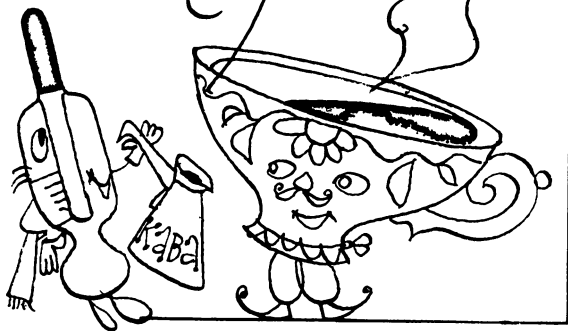
З давніх-давен учені намагалися пояснити природу теплових явищ, але зробити це вдалося лише в останні 125—150 років. У книжці розповідається про дослідження вчених різних країн світу, про способи передачі теплоти від одного тіла до іншого. Теплообмін супроводжує усі виробничі процеси, а також велику кількість явищ природи. У книжці явища теплопровідності, конвекції й випромінювання розглядаються на конкретних прикладах з різних галузей сучасної техніки, розкривається роль цих явищ у природі і в житті людини.

За допомогою теплоти, яка виділяється при згорянні різних видів палива, виплавляють метали з руд, сплавляють різні метали, виготовляють різноманітні речі. У книжці розповідається про деякі цікаві метали, про повну драматизму історію їх відкриття, про цікаві властивості сплавів, зокрема, про існування у деяких сплавів своєї «пам'яті», розглядаються причини високої твердості й пружності булатних мечів.

Висвітлення в книжці всіх цих питань сприятиме розв'язанню поставленого в Основних напрямах реформи загальноосвітньої і професійної школи завдання — показати технологічні застосування законів фізики, хімії, біології та інших наук, створюючи тим самим основу для трудового навчання і професійної орієнтації молоді.

І

ТЕПЛОВІ
ЯВИЩА



Про природу теплових явищ

У повсякденному житті людина на кожному кроці стикається з тепловими процесами: плавить руду в доменних печах чи варить на вогні плити каву, борщ, змушує працювати теплові двигуни чи готує морозиво за допомогою льоду, зігріває в морозний день руки енергійним їх потиранням чи запускає космічні ракети.

Чому плавиться руда або метал, а тіло на морозі охолоджується? Що відбувається з водою в результаті її нагрівання в чайнику і чому одна й та сама речовина при різних температурах може бути і рідкою, і твердою, і газоподібною? Чим відрізняється нагріта плита від холодної і що відбувається з тілом внаслідок його нагрівання та охолодження? Що являють собою теплота і температура?

Поставивши на вогонь плити чайник, ми не задумуємося над тим, що відбувається в ньому, поки він закипить. Аби лише закипів. Та завжди знаходилися люди, яких цікавила суть теплових явищ. Побачити, пояснити, перевірити — завжди було природною потребою допитливого людського розуму. А в такій важливій галузі знань, як вчення про теплові явища, ця потреба була особливо великою.

Очевидно, під час лісових пожеж первісні люди помітили, що від палаючих дерев поширюється тепло, іноді вони ласували смаженою свининою чи ведмежатиною, печеними плодами та коренями. Проте лише гостра життєва необхідність змусила їх подолати тваринний жах перед вогнем. Така необхідність виникла п'ятсот тисяч років тому, в епоху так званого міндельського зледеніння, коли на просторах північної півкулі різко похолодало.

Підтримування вогню і його охорона від ворожих племен було найвідповідальнішим «громадським» дорученням у первісних людей. Вдень і вночі найхоробріші, озброєні до зубів воїни племені оберігали вогонь. Цікаво про це розповідається у книжці Роні Старшого «Боротьба за вогонь» (М.: Детиздат, 1935).

Про вічний вогонь первісних прометеїв свідчать шари скам'янілої золи й попелу. У печері поблизу Пекіна товщина такого шару досягає кількох метрів.

Лише значно пізніше люди навчилися поводитись з вогнем і добувати його самі.

Оволодівши вогнем, наші далекі предки стали сильнішими у боротьбі зі стихією. Це був перший крок на шляху до використання природних сил людиною. Саме так усвідомили історичне значення цього факту люди, створивши легенду про Прометея, який викрав вогонь у Зевса і подарував його людям. Слово «Прометей» походить від староіндоевропейського слова, що означає спосіб, яким спільні предки греків та інших індоевропейських народів добували вогонь. Санскритське (староіндійське) слово «праманта» означало палицю, яку обертали у маточині диска для добування вогню. Праматіус староіндійською мовою — «той, хто тре». Індійського бога вогню звали Агні-праматі.

Вогонь з давніх пір вважається союзником людини в її боротьбі за існування. Він її зігрівав, освітлював темні печери, давав гарячу їжу, захищав від нападу диких звірів. Вогонь дав людині джерело тепла, яке не залежало від стану погоди. Він дав можливість економити її сили і спрямовувати їх на щось інше, в тому числі і на роздуми над природою вогню і тепла. Тому й не дивно, що вже в сиву давнину людської історії ми зустрічаємося з спробами пояснити природу теплоти. Так, старо-

грецький філософ Г е р а к л і т за п'ять століть до нашої ери називав вогонь основою світу і сміливо проголошував: «...Цей космос, один і той же для всього існуючого, не створив якийсь бог чи якась людина, він завжди був, є і буде вічним живим вогнем».

Намагався пояснити відмінність між холодними і гарячими тілами і геніальний італійський учений Галілео Галілей (1564—1642). Спостерігаючи, як гаряче тіло, що міститься поблизу холодного, охолоджується, а холодне нагрівається, учений зробив природний висновок, що від гарячого тіла до холодного щось передається. Галілей вважав, що це «щось» є особливою речовиною. А французький учений Г а с с е н д і (1592—1655) стверджував, що існують особливі «матерії» тепла й холоду, які з'єднують між собою атоми речовин і перетворюють їх у тверде тіло. На його думку, атоми холоду мають гострі кути і, діючи ними на шкіру, викликають почуття холоду.

Більшість дослідників XVII—XVIII століть також вважали, що існує особлива теплова речовина — теплець. Ідею теплецю підтримував учитель М. В. Ломоносова Х. В о л ь ф (1679—1754). Він пропонував теплоту розглядати як особливу речовину, яка міститься у найдрібніших проміжках між частинками тіла, в одного більше, в іншого менше, залежно від його природи, і переходить від одного тіла до іншого. Сам по собі теплець не теплий, він викликає відчуття тепла внаслідок руху.

Таким чином, за теорією теплецю, гаряче тіло відрізняється від холодного тим, що воно містить більше теплецю, ніж холодне. Всяке тіло складається ніби з двох речовин — речовини самого тіла (заліза, води, міді, скла, каменю) і теплецю.

Кожне тіло — це суміш речовини тіла і теплецю.

Слово «температура» якраз і означає суміш. І майже півтори сотні років вважалось, що, вимірюючи температуру тіла, ми визначаємо концентрацію теплецю в тілі. Звідси й назва одиниці температури — градус. Саме в таких одиницях вимірювали, наприклад, концентрацію водних розчинів.

Та ось спробували зважити теплець. Адже будь-яка речовина має масу. Маса холодного й нагрітого тіла виявились однаковими, хоча нагріте тіло змішалось з теплецем. Учені підвищили точність вимірювань. Результат був однаковим.

Учені прийшли до висновку, що теплець — речовина невагома, він проникає через герметичні стінки і, заповнюючи пори тіла, яке нагрівається, розштовхує його частинки і таким чином збільшує об'єм.

Проте глибше вивчення теплових явищ показало, що таке уявлення про теплоту помилкове. Адже на той час було відомо, що тіла нагріваються від тертя. Насамперед теорія теплецю не могла пояснити нагрівання тіл при терті. Забивають цвях — він нагрівається; незмащена вісь, на яку насаджено колесо воза, нагрівається настільки, що може загорітися. Особливо багато теплоти виділялось внаслідок тертя у великих промислових установках.

У кінці XVIII ст. першим піддав гострій критиці теорію теплецю американський військовий інженер Бенджамен Томпсон (1753—1814). У 1784 р. Томпсон почав служити в баварського барона і за наукові заслуги дістав титул графа Румфорда, під яким і увійшов в історію науки. Завідуючи в майстернях військового арсеналу в Мюнхені виготовленням стволів для гармат, Румфорд звернув увагу, що під час свердління металу температура його значно підвищується. Кількість теплоти,

що виділяється в результаті свердління, здається невичерпною. Чим довше свердлили метал, тим більше він нагрівався. Румфорд зацікавився: звідки береться теплота? Що може бути її джерелом?

Румфорд вирішив спеціально дослідити це явище. Він висловив деякі припущення про причини нагрівання стволів під час свердління та експериментально їх перевіряв. За теорією теплецю теплота могла з'явитися або з металу, або з навколишнього простору. Проте, на думку Румфорда, ні одне, ні друге не було її джерелом. Для перевірки своїх припущень він зважив ствол гармати до свердління, а потім зважив ствол і стружку після свердління. Обидва зважування дали однаковий результат. Один з аргументів прихильників теорії теплецю полягав у тому, що дрібна металева стружка має меншу теплоємність, ніж масивний метал, у якому свердлили отвір. А тому при переході металу в стружку остання віддає певну кількість теплецю суцільному металові, підвищуючи його температуру.

Румфорд придумав простий спосіб перевірки цього аргументу. Якщо користуватись тупим свердлом, міркував він, то стружки буде мало і нагрівання ствола повинно бути меншим. Румфорд проробив дослід: температура ствола піднялась ще вище. Очевидно, теорія теплецю не могла пояснити цього явища. Проте захисники теорії теплецю не здавалися. Вони висунули ще один аргумент: теплець передається металові від повітря. Для перевірки цього припущення Румфорд повторив дослід під водою. Зовсім несподівано вода закипіла (кольорова вклейка І). Ось тоді Румфорд і заявив, що, оскільки під час свердління теплоту можна діставати в необмеженій кількості, то її не можна вважати речовиною, що «теплота є *рух*» (це слово виділив сам Румфорд) і всі теплові явища є виявом руху

частинок. Очевидно, при цьому Румфорд пригадав, що до нього Р. Бойль, Р. Гук, Г. Гюйгенс, І. Ньютон та інші вчені стверджували, що теплота пов'язана з рухом частинок, з яких складаються тіла.

Часто слова Румфорда «теплота є рух» приводять як свідчення великої прозорливості вченого. Не будемо заперечувати цього, але скажемо, що це твердження одночасно можна розглядати і як свідчення великої обережності. Який саме рух становить собою теплота? Що відбувається з цим рухом, коли тіло охолоджується? Жодного з цих питань Румфорд не ставив і, природно, не дав на них відповіді. Але це, безперечно, не зменшує великої заслуги Румфорда, який довів, що теплота є якоюсь властивістю самої речовини, а не чимось таким, що додається до речовини.

Ще переконливіше заперечували теорію теплецю результати досліду сучасника Румфорда, відомого англійського фізика і хіміка Гемфрі Деві (1778—1829). Дослід був дуже простим: Деві склав разом два куски льоду, помістив їх у посудину при температурі, дещо нижчій від $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, відкачав з посудини повітря і за допомогою годинникового механізму змусив кусочки льоду тертися один об одного. Виявилося, що лід не тільки повністю розтанув внаслідок тертя, а й температура води була дещо вищою за $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Цього вже аж ніяк не могла пояснити теорія теплецю, адже теплець нізвідки не міг надійти до льоду. Висновок міг бути лише такий: теплота з'явилася за рахунок руху кусків льоду.

Можна проробити ще простіший дослід: потрїть гумкою по шорсткому папері кілька секунд і ви відчуєте, що гумка нагрїлась і пече пальці.

Досліди Румфорда й Деві остаточно відкинули теорію теплецю і стали початком корінного перегляду основних уявлень про теплоту. Та минуло ще немало

років, поки уявлення про теплець повністю не зникли.

Одночасно з теорією теплецю існувала й інша теорія, одним з творців якої був М. В. Ломоносов. Правда, і до нього висловлювались ідеї про теплоту як рух найдрібніших частинок самої речовини. Так, Р. Бойль (1627—1691) зазначав, що теплота зумовлюється механічним рухом тіла. Він розглядав нагрівання тіл під час тертя, кування і зазначав, що, наприклад, під час кування енергія молота використовується для того, щоб привести частинки деталі в коливальний рух. Саме цей рух і визначає суть теплоти.

Розмірковуючи над природою теплоти, Ломоносов прийшов до висновку, що теплота зумовлюється внутрішнім обертотним рухом «зв'язаної матерії» нагрітого тіла і довів, що теплові явища пояснюються внутрішнім рухом тіл. Завдяки атомістичній будові матерії у тілі може відбуватися рух частинок без видимого руху самого тіла. «Дуже добре відомо,— писав Ломоносов,— що теплота збуджується рухом: від взаємного тертя руки зігріваються, дерево загоряється полум'ям; при ударі кременю об кресало з'являються іскри; залізо розжарюється від проковування частими ударами...» З цих спостережень учений дійшов висновку, що видимий рух перетворюється в обертання молекул, яке і являє собою теплоту. Не можна заперечувати рух там, де ми не можемо його безпосередньо бачити. Надзвичайно важливим є зауваження Ломоносова про те, що жодний рух не може відбуватися без матерії.

Як бачимо, в поглядах на природу теплоти М. В. Ломоносов набагато випередив свій час, його ідеї були досить сміливими, на їх основі можна було переконливо пояснити багато теплових явищ. Лише окремі фізики того часу осмілювалися

поділяти погляди Ломоносова. Потрібний був наочний і переконливий дослід для розв'язання питання, яка з теорій теплоти є правильною, а яка — хибною. І саме таким дослідом став описаний вище дослід Румфорда.

Понад двісті років точилася запекла боротьба між двома теоріями теплоти. Протягом тривалого часу панувала теорія теплецю, але зрештою, перемогу здобула теорія, за якою теплота є способом передачі енергії. Незважаючи на те, що теорія теплецю виявилась помилковою, вона відіграла важливу роль у розвитку науки і була досить корисною для свого часу: на основі теплецевих уявлень було виконано багато важливих досліджень. Саме на основі теплецевих уявлень здійснив важливі дослідження принципу дії теплової машини поручик французької армії, військовий інженер Саді Карно (1796—1832).

Сучасна фізика вчить, що всі гази, рідини й тверді тіла складаються з молекул і атомів, які перебувають у вічному тепловому русі. Якщо нагріти тіло, то рух молекул (атомів) буде інтенсивнішим, ніж до нагрівання. Гаряча плита відрізняється від холодної тим, що атоми металу гарячої плити коливаються значно інтенсивніше, ніж молекули холодного металу. Нагрівання одного тіла за рахунок іншого пояснюється не перетіканням теплецю, а мікроскопічними взаємодіями молекул одного тіла з молекулами іншого. Під час кожної такої взаємодії молекули гарячого тіла передають частину своєї кінетичної енергії молекулам холоднішого. Це зумовлює збільшення енергії молекул холоднішого тіла, внаслідок чого зростає швидкість їх руху, а отже, збільшується внутрішня енергія тіла, і воно нагрівається.

Коли ми ставимо чайник з водою на полум'я,

то молекули розжареного газу (полум'я) носяться з величезними швидкостями, безперервно бомбардують дно і стінки чайника і передають свою енергію при зіткненнях молекулам металу, змушуючи коливатись їх інтенсивніше. Чайник нагрівається ще й тому, що в місцях контакту його дна з нагрітою плитою молекули плити, які коливаються значно інтенсивніше, передають під час зіткнення молекулам чайника певну частину своєї енергії. В результаті інтенсивність коливального руху молекул чайника зростає, тобто чайник нагрівається. Аналогічно внаслідок мікроскопічних взаємодій молекул чайника і води відбувається нагрівання води. Нагріваючи воду, ми збільшуємо інтенсивність хаотичного теплового руху її молекул. Зв'язки між молекулами води слабшають, молекули звільняються, вода переходить у пароподібний стан. Нагріваючи пару, ми збільшуємо швидкість руху її молекул. Рух величезної сукупності молекул може передатися кришці чайника, і пара може підняти чи навіть скинути кришку. Розповідають, що спостереження за кришкою чайника, яку підкидала пара, наштовхнули відомого англійського винахідника Джемса Уатта на ідею створення парової машини.

Що таке внутрішня енергія тіла і як її можна змінити?

У фізиці відомо два типи законів: одні нагадують військовий статут, другі — карний кодекс. Перші точно встановлюють, як треба діяти в певних обставинах. Таким є, наприклад, закон Ома для електричного кола: є напруга, задано опір провідника, ось вам і сила струму в провіднику. Другі вказують лише на те, чого не можна робити. Таким є закон

збереження енергії: все може відбуватися в природі з тілами, якщо тільки їхня загальна енергія не змінюється. По суті закон збереження енергії є обмеженням або заборонаю: забороняються явища, в яких не зберігалася б енергія.

Тепер давайте розглянемо кілька простих явищ. Паровий молот піднявся на певну висоту. Запас його потенціальної енергії збільшився. Внаслідок падіння на деталь швидкість молота збільшується, а висота піднімання зменшується. Отже, зростає кінетична енергія молота, а потенціальна енергія зменшується. В результаті удару об деталь молот зупиняється, а тому кінетична й потенціальна енергії молота відносно деталі дорівнюватимуть нулеві. Куди ж поділася механічна енергія молота? Невже зникла безслідно? Але цього не допускає закон збереження енергії. Найбільш розумно припустити, що механічна енергія молота перетворилася в якусь іншу форму енергії. В яку ж саме?

Оглянувши деталь після удару, ми побачимо, що вона деформувалась. Молот теж деформувався, але ця деформація настільки незначна, що її важко виявити після одного удару. Отже, в результаті удару відбулась деформація обох тіл.

Якщо ми відразу після удару молота виміряємо температуру деталі й молота, то виявимо, що вони нагрілись. Після кількох ударів молот і особливо деталь нагріваються настільки, що це легко виявити простим дотиком руки.

Отже, в результаті удару молота об деталь змінився стан цих тіл — вони дещо деформувались і нагрілись. Але якщо змінився стан тіл, то змінилася й енергія частинок — молекул чи атомів, з яких складаються тіла. Справді, ми знаємо, що від нагрівання тіла зростає середня швидкість руху молекул, а отже, збільшується їхня середня кінетич-

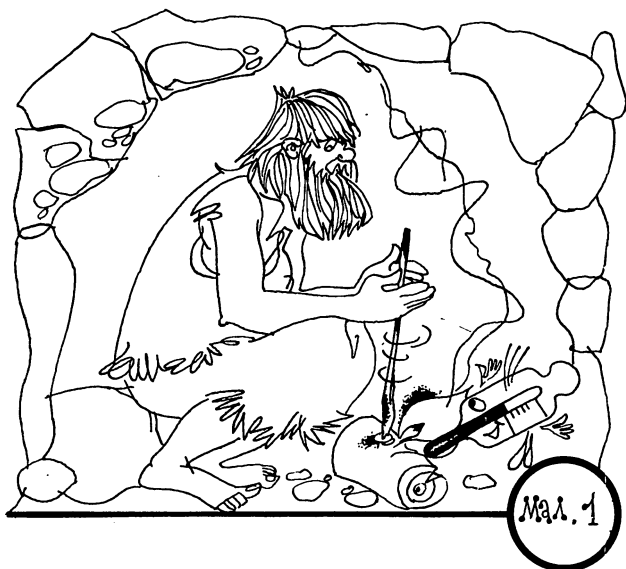
на енергія. Оскільки між молекулами діють сили взаємного притягання і відштовхування, то вони мають і потенціальну енергію взаємодії. Внаслідок деформації тіла змінюється взаємне розміщення його молекул, тому змінюється їх потенціальна енергія. Таку сукупність енергії руху і взаємодії частинок, з яких складається тіло, і називають його *внутрішньою енергією*.

До внутрішньої енергії відносять також кінетичну і потенціальну енергії коливальних рухів атомів, енергію внутрімолекулярної взаємодії між атомами (хімічну енергію), внутріатомну і внутріядерну енергію, а також енергію випромінювання атомів. Та оскільки в теплових явищах змінюється лише енергія руху і взаємодії молекул, то під внутрішньою енергією надалі розумітимемо лише кінетичну енергію теплового руху і потенціальну енергію взаємодії молекул тіла.

Таким чином, в розглянутому вище прикладі з падінням молота механічна енергія перетворюється у внутрішню енергію деталі і молота.

Але внутрішня енергія тіла може змінюватись не тільки від його деформації. У будь-якому механічному русі тіла з тертям кінетична енергія тіла поступово перетворюється у внутрішню енергію. Адже під час руху з тертям за рахунок кінетичної енергії тіла виконується робота на подолання сил тертя, тертьові поверхні тіл нагріваються, тобто кінетична енергія тіла перетворюється в енергію руху молекул. Про можливість збільшення внутрішньої енергії тіл від тертя знали ще первісні люди, які добували вогонь тертям двох шматків дерева (мал. 1).

Внутрішня енергія тіла змінюється, коли його подрібнювати, оскільки при цьому змінюється взаємне розміщення частинок у тілі, а отже, й



потенціальна енергія їх взаємодії. Спалюючи паливо, ми маємо справу з перетворенням хімічної енергії у внутрішню. Яскравим прикладом перетворення електричної енергії у внутрішню є дія електроплитки.

Внутрішня енергія тіла змінюється, коли воно переходить з одного агрегатного стану (твердого, рідкого чи газоподібного) в інший. Особливо велика відмінність між внутрішньою енергією твердої і розплавленої речовини або рідини та її пари. З енергетичного погляду цікавим є перехід речовини з рідкого стану в газоподібний при довільній температурі без додаткового підведення енергії ззовні. Так, відомо, що коли налити воду в склянку і залишити її відкритою в кімнаті, то через деякий

час води в ній стане менше: вона випарується. У процесі випаровування рідину залишають ті молекули, які мають кінетичну енергію, достатню для подолання сил притягання з боку інших молекул води і подолання сил атмосферного тиску.

Може виникнути запитання: звідки ж береться ця енергія? Вона надходить із самої рідини, з повітря, від стінок склянки, і надходить її якраз стільки, скільки потрібно для перетворення води з рідкого стану в газоподібний. Взагалі завжди під час пароутворення, як і під час плавлення речовин, потрібно підвести енергію ззовні, тобто збільшити внутрішню енергію молекул. І навпаки, під час конденсації пари, і під час тверднення речовин ця енергія в однаковій кількості віддається навколишнім тілам. Зміна внутрішньої енергії речовини внаслідок переходу з одного агрегатного стану в інший не залежить від того, як цей перехід здійснювався: з твердого в рідкий, а потім у газоподібний чи відразу з твердого в газоподібний стан, наприклад, коли випаровується лід, нафталін, йод тощо. Особливо наочним є випаровування «сухого» льоду — твердої вуглекислоти, яким охолоджують морозиво. Бруски «сухого» льоду завжди оповиті білою хмаринкою пари.

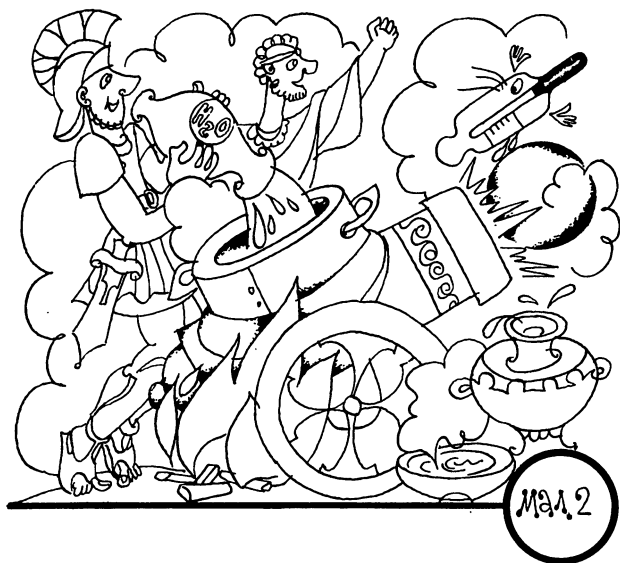
Таким чином, можна сказати, що внутрішня енергія тіла залежить від стану цього тіла. Із зміною стану тіла змінюється і його внутрішня енергія.

Теплота й механічна енергія

Повернемось ще раз до дослідів Румфорда й Деві. Ці досліди переконливо довели, що механічна енергія у процесі виконання роботи перетворюється у внутрішню енергію. На той час було відоме вже й зворотне перетворення внутрішньої енергії в механічну.

Уже кілька років працювали парові двигуни, винайдені в 1784 р. англійським механіком Джемсом Уаттом, в яких стиснута гаряча пара внаслідок розширення виконувала роботу. Більше того, явища перетворення внутрішньої енергії в механічну були відомі вченим вже не одне тисячоліття. Так, розповідають, що першу артилерійську гармату великий грецький механік і математик Архімед (287—212 рр. до н. е.) сконструював задовго до того, як було винайдено порох. Як впливає з античних історичних джерел, під час облоги римлянами міста Сіракузи (215—212 рр. до н. е.) їхні кораблі обстрілювали невідомі гармати. Видатний італійський учений, винахідник і художник Леонардо да Вінчі (1452—1519), який досліджував це питання, вважав, що «гармата» Архімеда складалася з дерев'яного ствола, в якому містився снаряд масою кілограм сорок (кольорова вклейка II). Один кінець ствола розпікали на вогнищі, а потім у нагріту частину наливали воду (мал. 2). Вода швидко випаровувалась, і пара, розширюючись, з гуркотом викидала ядро на відстань до шести стадій (близько 1100 м). В архівах вченого збереглися ескізи, які свідчать про те, що він пробував побудувати аналогічну гармату.

Те, що не вдалося великому італійцю, здійснив нещодавно грецький інженер І. Сакас. Він поставив за мету розвіяти сумніви щодо «гармати» Архімеда і, вивчивши стародавні креслення та документи, виготовив діючу модель гармати і випробував її в одному з передмість Афін. Під час випробувань, на яких були присутніми журналісти, заповнена цементом тенісна кулька масою триста грам летіла на відстань сорок метрів. Сконструйована Сакасом модель складається з труби завдовжки тридцять сантиметрів, що виго-



товлена з тутового дерева. Нижня частина ствола з'єднується з металевою колбою, яка нагрівається до $400\text{ }^{\circ}\text{C}$. Колба має клапан для подачі води, що миттєво випаровується, і снаряд завдяки великому тиску вилітає із ствола. Причому постріл відбувається тільки тоді, коли тиск досягає потрібного значення, оскільки снаряд закріплюється в стволі спеціальним пристроєм.

Сакас вважає, що Архімед і його сучасники цілком могли виготовити такі гармати. Швидкострільність стародавньої «гармати», за розрахунками грецького інженера, становила один постріл за хвилину, проте далекість польоту снаряда навряд чи досягала шести стадій, як вважали античні

історики. Але в будь-якому випадку «гармата» Архімеда була досить грізною зброєю, яка переважала катапульти римлян. Винаходили парову гармату й порівняно недавно.

Загрозливо палахкотить у топці полум'я. .

— *Підняти пару!*

— *Є підняти пару...*

— *Гармата до бою готова!*

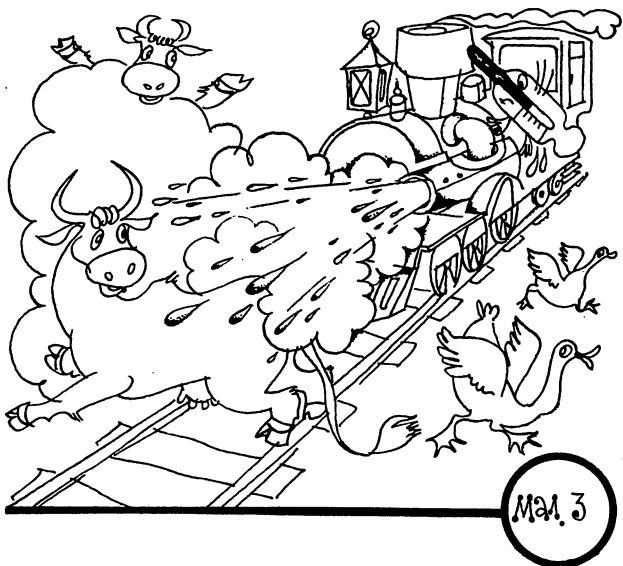
— *Вогонь!*

І гримнув залп, через мить — другий, третій. І так до півсотні пострілів за хвилину.

Фантазія? Не зовсім. Парова гармата справді існує, правда, в єдиному екземплярі, як експонат Ленінградського артилерійського музею. Винайшов таку гармату полковник російської армії Карелін у 1829 р. На озброєння армії її так і не взяли: перш ніж стріляти, треба було майже 40 хвилин нагрівати воду у котлі, який до того ж міг випадково вибухнути і перебити артилеристів. А головне — занадто громіздкою і масивною вийшла гармата, явно не розрахованою на кінну тягу.

Проте років через п'ятдесят винахід Кареліна відродився, правда, в дуже зміненому вигляді. У кінці минулого століття хтось з американців запропонував ставити на паровози... гармати, які б стріляли струминою пари. Для чого? Щоб лякати буйволів або корів, які взяли за моду розгулювати по коліях (мал. 3). З погляду техніки тут ніяких ускладнень немає — пари скільки завгодно, стріляй, коли заманеться.

Та, незважаючи на те, що явища перетворення механічної енергії у внутрішню і навпаки були відомі вченим з давніх-давен, ще на початку XIX століття сама ідея взаємоперетворюваності енергії усвідомлювалась вченими не зовсім чітко, навіть саме слово «енергія» було незвичним і часто замість



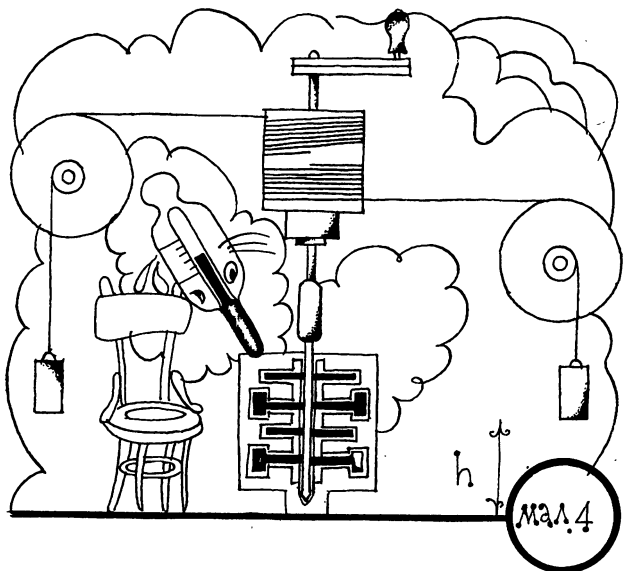
нього вживали слово «сила». Потрібні були точні й різноманітні досліди, які переконали б у тому, що внаслідок перетворення механічної енергії у внутрішню і навпаки енергія зберігається. Якщо кількість теплоти справді є формою енергії, еквівалентною потенціальній і кінетичній енергії, то в кожному досліді, в якому відбувається перетворення однієї форми енергії в іншу, за рахунок певної механічної енергії експериментатор повинен діставати одну й ту саму кількість теплоти.

Починаючи з 1840 р. було проведено багато різноманітних і точних дослідів, щоб встановити співвідношення між механічною енергією і кількістю

теплоти. Досліди проводились один за одним. І щоразу природі ставилося одне й те саме запитання: «Чи дає кожна одиниця механічної енергії одну й ту саму кількість теплоти?» Якщо в процесі перетворення будь-якого виду енергії (механічної, хімічної, електричної) дістають завжди одну й ту саму кількість теплоти, то можна говорити про загальний закон збереження енергії.

Такі досліди проводились багатьма вченими, але особливо переконливими були ті, що їх ставив власник пивоварних заводів у м. Манчестері (Англія) Джеймс-Прескотт Джоуль (1818—1889), для якого фізичні дослідження стали своєрідним «хоббі». Як один з першовідкривачів закону збереження енергії, Джоуль у 1850 р. був обраний членом Лондонського королівського товариства (англійської академії наук).

З величезним ентузіазмом і незрівняною майстерністю Джоуль проводив дослід за дослідом. Результати цих дослідів переконували як своєю різноманітністю, так і точністю вимірів. Суть одного з дослідів Джоуля була такою. У металевому циліндрі встановлювалась вертикальна вісь з насадженими на неї в кілька рядів лопатками (мал. 4). На внутрішній стінці циліндра прикріплювалися горизонтальні пластинки, між якими проходили лопатки під час обертання осі. Циліндр заповнювали водою і ставили на дерев'яний стілець. На верхній кінець осі насаджувалась спеціальна дерев'яна муфта, яку обвивали дві горизонтально натягнуті мотузки, перекинуті через блоки. До кінців мотузок прив'язували однакові тягарі, які, опускаючись, обертали вісь з лопатками. За рахунок потенціальної енергії піднятих тягарів виконувалась робота на перемагання тертя води об лопатки, пластинки і внутрішню поверхню циліндра. Вода нагрівалась. В інших дослідах циліндр за-



повнювався не водою, а ртуттю і навіть китовим жиром.

Знаючи масу тягарів і висоту, на яку вони опускалися, Джоуль міг обчислювати зменшення потенціальної енергії тягарів. А знаючи масу води і вимірявши, на скільки градусів вода нагрілась, міг обчислити, яку кількість теплоти дістала вода під час досліду. В результаті проведених дослідів було встановлено, що завжди задана механічна енергія перетворюється в еквівалентну їй кількість теплоти.

Донедавна різні види енергії вимірювались різними одиницями. Інженери-механіки схильні були користуватися кілограмометрами, фізики полюбили ерги й електрон-вольти, хімікам та дієтологам подобалось

користуватися калоріями. За користування електричною енергією ми досі платимо з розрахунку на кіловат-години. Усі ці одиниці можна, звичайно, переводити одна в одну, але доцільніше користуватися однією одиницею енергії — *джоулем*. Кількість теплоти з давніх пір вимірювалася в *калоріях*. Ця одиниця енергії ще й досі вживається в повсякденному житті. Наприклад, ми говоримо, що та чи інша їжа містить багато чи мало калорій, а не джоулів. У своїх дослідах Джоуль та інші дослідники встановили, що відношення між механічною енергією і одержаною за рахунок цієї енергії кількістю теплоти, вираженою, зрозуміло, в різних одиницях, стало. З цих дослідів, зокрема, випливало, що $1 \text{ джоуль} = 0,24 \text{ калорії}$ або $1 \text{ калорія} = 4,18 \text{ джоулів}$.

Таким чином, можна зробити висновок, що Джоуль та інші дослідники встановили закон збереження енергії для випадку перетворення механічної енергії у внутрішню. Якщо виміряти механічну енергію й кількість теплоти в одних одиницях, наприклад, у джоулях, як це ми робимо зараз, то можна сказати так: Джоуль з'ясував: на скільки під час досліду зменшується потенціальна енергія тягарів внаслідок їх опускання, на стільки ж зростає внутрішня енергія води, лопаток, циліндра та інших тіл, які нагріваються при цьому.

У процесі дослідів не так просто було точно виміряти, яку кількість теплоти діставала вода чи інша рідина, адже треба було врахувати втрати енергії на нагрівання навколишнього повітря, на випромінювання тощо. Джоуль дуже старанно врахував усі втрати енергії й намагався зробити їх якомога меншими. Співвідношення між механічною енергією та кількістю теплоти Джоуль визначив з непоганою для того часу точністю — 0,5 %.

Про намагання Джоуля старанно враховувати можливі втрати енергії свідчить такий цікавий факт. У 1850 р. Джоуль вимірював, яка кількість теплоти виділяється внаслідок тертя залізних пластинок. У цьому досліді він навіть ухитрився врахувати, яка кількість механічної енергії перетворюється в енергію скреготу пластинок. Для цього він найняв віолончеліста, який змагався у гучності зі скреготом пластинок, а потім вимірював енергію, яка витрачалася музикантом на рух смичка (кольорова вклейка III). В результаті Джоуль встановив, що на скрегіт витрачається близько 1 % всієї механічної енергії.

Джоуль та інші вчені провели також досліді, які свідчать, що енергія зберігається не тільки при перетворенні у внутрішню механічної енергії, а й інших видів енергії — електричної, хімічної тощо. Енергетичний баланс завжди сходився. Усе це було виявлено за допомогою десятків дослідів, які кожного разу перевірялися.

Отже, ці досліді підтверджували загальний закон збереження й перетворення енергії. Першим сформулював цей закон у 1847 р. відомий німецький вчений Герман Гельмгольц (1824—1894), зазначивши, що він є загальним для різних процесів: механічних, теплових, електричних, фізіологічних тощо.

Саме досліді Джоуля остаточно відкинули теорію теплецю. Будь-яка фізична теорія залишається безплідною доти, поки гіпотези залишаються словами і їх не переведено на мову цифр і формул. Висловлена Румфордом і Деві гіпотеза про те, що природа тепла пов'язана з рухом молекул у тілах, ґрунтувалася на не дуже точних дослідіх і мало кого могла переконати у своїй достовірності. Лише після встановлення Джоулем кількісного зв'язку між механічною енергією і теплотою модель незнищеної

рідини — теплецю стала перешкодою для дальшого розвитку теорії теплових явищ і її було відкинуто. На зміну їй прийшла кінетична теорія теплоти.

Енергія чашки кави

Молекули газу чи рідини рухаються з великими швидкостями, але кінетична енергія однієї молекули надзвичайно мала, тому що дуже мала маса молекули. Однак кількість молекул навіть у тілах незначних розмірів грандіозна, тому внутрішня енергія тіла, що дорівнює сумі енергій усіх молекул тіла, може бути досить значною. Для прикладу спробуємо обчислити, яку внутрішню енергію має чашка гарячої чорної кави (місткістю 300 см^3). Не думайте, що я маю на увазі чудодійний хімічний склад кави, завдяки якому чашка гарячого ароматного напою може відновити сили стомленої людини. Значну кількість енергії містить гаряча вода. Не вірите? Давайте підрахуємо.

Кінетична енергія молекули води при температурі $80 \text{ }^\circ\text{C}$ (такою вважаємо температуру гарячої кави) становить $0,000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 0073 \text{ Дж}$ ($7,3 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$). В одному грамі води міститься $3,34 \cdot 10^{22}$ молекул, а всього в чашці буде близько 10^{25} молекул. Сумарна кінетична енергія всіх цих молекул становить $73\ 000 \text{ Дж}$. Це багато чи мало? Давайте порівняємо цю енергію з іншими більш наочними значеннями енергії. Якщо підняти масивний ковальський молот масою 5 т на висоту приблизно $1,5 \text{ м}$, то його потенціальна енергія дорівнюватиме $73\ 000 \text{ Дж}$, тобто внутрішня енергія чашки кави дорівнює потенціальній енергії молота масою 5 т , піднятого на висоту $1,5 \text{ м}$. Важкоатлет, піднімаючи штангу масою 200 кг на висоту 2 м , виконує роботу

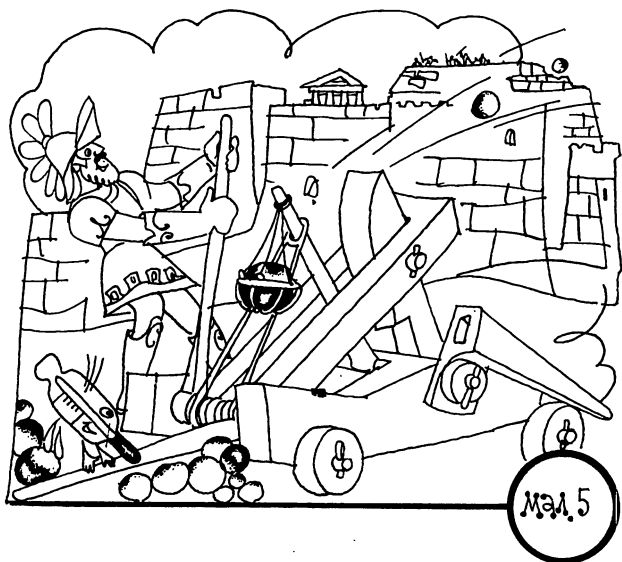
понад 3900 Дж. Отже, за рахунок внутрішньої енергії чашки кави можна було б підняти штангу 20 разів. Енергію 73 000 Дж може віддати заряджений акумулятор або дві батарейки до кишенькового ліхтарика при повному розрядженні. Таку енергію споживає електролампа потужністю 25 Вт майже за годину горіння.

Ось яка енергія міститься у звичайній чашці кави. Інша справа, що використати цю енергію буває значно складніше, ніж енергію інших видів. Досить відпустити піднятий молот і він, упавши на деталь, виконає корисну роботу. З'єднаємо з акумулятором чи батарейкою якийсь електричний прилад і дістанемо корисну роботу. Значно важче використати внутрішню енергію тіл. Так, наприклад, внутрішню енергію води в океанах, морях, озерах, річках, а також навколишнього повітря використати поки що не вдається.

Успіхи в розвитку техніки значною мірою залежать від того, наскільки людство навчилося використовувати внутрішню енергію тіл. У всьому світі вчені шукають способи перетворення внутрішньої енергії тіл в інші види енергії, насамперед в електричну.

Боротьба з нагріванням деталей

Ви знаєте, що існує два способи зміни внутрішньої енергії тіла: виконанням механічної роботи або тепlopередачею. Нехай треба нагріти до певної температури металевий стержень. Це можна зробити, по-перше, натиранням стержня, згинанням і розгинанням його, тобто виконуючи механічну роботу; по-друге, за допомогою іншого, гарячішого тіла,



наприклад електричної плитки, від якої передається стержню певна кількість теплоти. Будь-який процес перетворення механічної енергії завжди супроводжується збільшенням внутрішньої енергії навколишніх тіл. Для ілюстрації цього розглянемо приклад з книжки В. Варламова «Народжені зірками» (М.: Знание, 1977).

...Вище досягнення військової техніки минулого — катапульта. Бойовий розрахунок заряджає її. Суєта, крєктання. Нарешті, камінь вкрито в гніздо, волів жили натягнуто, важіль закріплено (мал. 5)... Чудо техніки насичене потенціальною енергією, переданою йому славними хлопцями. А самі джерела енергії витирають піт з обличчя: частина енергії, призначеної для «корисної» роботи, пішла на сторону — на непотрібне ні людині, ні катапульти нагрівання.

Катапульта спрацювала. Камінь із посвистом помчав і врізався у кріпосну стіну. Ще частина потенціальної енергії пішла на цей кам'яний посвист, на проштовхування крізь повітря. За рахунок виконання роботи на перемагання сил тертя знову збільшилась внутрішня енергія тіл. Це зростання внутрішньої енергії можна було б якимось способом підрахувати, але що з того — «корисна» вбивча сила каменя все одно зменшилась.

І найбільш тямущий з ратників лізе п'ятірнею у потилицю: а що, коли, наприклад, загострити цей камінь, видовжити його та приладити стабілізатор, тобто хвіст?

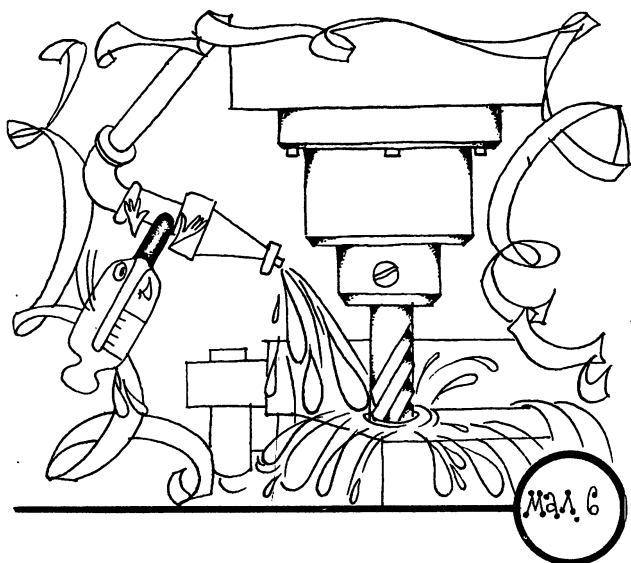
Справді, при цьому зменшаться втрати енергії на подолання опору повітря. Але стріляй хоч ядрами, хоч голками — навіть найідеальніша стріла, надобтічна ракета не дадуть стопроцентного коефіцієнта корисної дії установки. Це дуже прикро, але нічого не поробиш. Частина механічної енергії неминуче перетвориться у внутрішню енергію, не виконавши ніякої корисної роботи.

Але хіба для того людина придумала різні механізми, щоб вони загорялись чи плавивись від тертя?

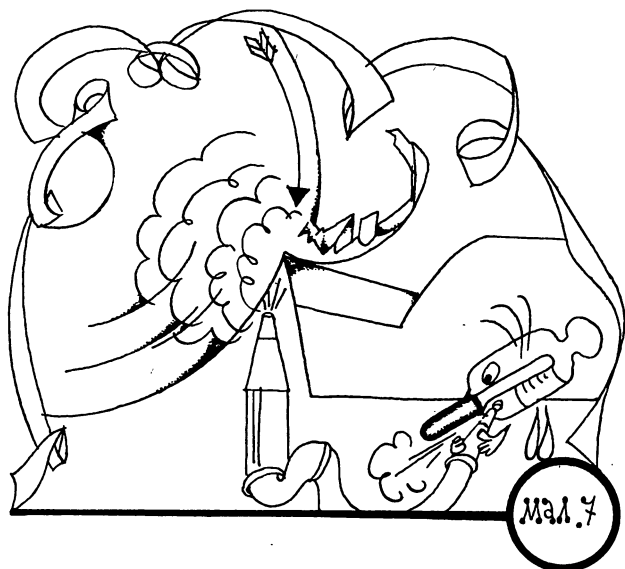
Постійно ведеться боротьба за зменшення втрат на нагрівання тіл, які рухаються з тертям: відшукуються обтічні форми, виготовляються спеціальні матеріали з низьким коефіцієнтом тертя, так звані антифрикційні, вдосконалюються різні підшипники ковзання та кочення, застосовуються ідеальні мастила тощо. Проте повністю запобігти цим втратам не можна. І тому доводиться обмежувати швидкість руху машин і механізмів, будувати громіздкі системи теплоізоляції тощо.

Добре відома шкода, що її завдає нагрівання деталей внаслідок тертя: «заїдання» тертьових деталей машин, передчасне спрацювання призводить до серйозних аварій.

Особливо велика кількість теплоти виділяється під час роботи металорізальних верстатів: токарних, фрезерних, свердлильних, шліфувальних тощо. На-



приклад, під час шліфування металевих деталей абразивним кругом температура стружки може досягти 1000, а то й 1500 °С. Внаслідок цього частина стружки згоряє, а частина плавиться. У процесі роботи сучасних швидкорізальних верстатів їх ріжучий інструмент нагрівається дуже сильно і його доводиться охолоджувати, щоб він не втратив твердості. Для цього до місця різання подають струмину спеціальної рідини-емульсії (мал. 6). Ця рідина, поливаючи інструмент, відбирає від нього теплоту, охолоджує його. Останнім часом починає застосовуватися ефективніший спосіб охолодження ріжучого інструмента, який ґрунтується на використанні великої питомої теплоти пароутворення. Нагадаємо,



що для випаровування 1 кг води треба витратити майже в 5,4 рази більше енергії, ніж для нагрівання цієї самої кількості води від 0 до 100 °С. При такому способі охолодження рідина розпилюється струминою повітря і спрямовується безпосередньо в зону різання (мал. 7). На випаровування рідини витрачається багато енергії, яка відбирається від інструмента, охолоджуючи його. Крім рідин, для охолодження ріжучого інструменту застосовуються охолоджені, а часто й зріджені гази, здебільшого зріджений вуглекислий газ. Рідка вуглекислота під великим тиском (до $6,4 \cdot 10^6$ Па) подається струминою в зону різання. Тут вона перетворюється в охолоджений до -40 °С газ, який, стикаючись з ріжучим інструментом, охолоджує його.

Зварювання металів тертям

Інженерна думка здавна невтомно шукає нових способів боротьби з шкідливим нагріванням деталей внаслідок тертя. Але потрібна була неабияка кмітливість і велика творча уява, щоб дістати з шкідливого явища користь і змусити його працювати на людину.

Це зробив у 1956 р. токар Олександр Гнатович Чудиков. У його заявці на винахід зазначалось: «зварювання металів... тертям». У своїх дослідках він дістав зварне з'єднання на звичайному токарному верстаті.

За одними даними О. Г. Чудиков виявив одного разу, як через неуважність змінника, що забув змастити центр бабки верстата, деталь міцно приварилась до нього (кольорова вклейка IV). За іншими даними одного разу в нього зламалося свердло, а запасного не було, тому робітник вирішив відновити поламане. Для цього одну частину свердла він затиснув у патроні токарного верстата, а другу закріпив замість інструмента на супорті. Увімкнувши верстат, поступово підвів одну частину свердла до другої, щоб між ними виникло тертя. Обидві частини нагрілися, почали плавитися, тоді О. Г. Чудиков вимкнув обертання, стиснувши частини і тримав їх так, поки вони не охололи. Так було відновлено свердло. В обох випадках механічна енергія з високим коефіцієнтом корисної дії перетворювалася у внутрішню.

Ідеєю винахідника зацікавилися у Всесоюзному науково-дослідному інституті електрозварювального обладнання. Проведені тут у співдружності з автором дослідження повністю підтвердили ідею Чудикова і запропоновану ним принципову схему зварювання тертям. Але відразу ж виявилась необхід-

ність створення спеціального обладнання, оскільки цей процес здійснювати на металорізальних верстаках економічно не вигідно.

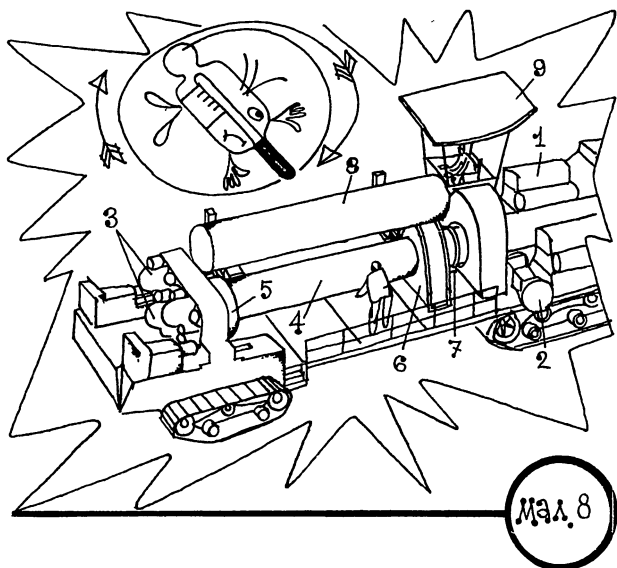
Під час дослідів було виявлено нові дуже цінні особливості процесу: його високі коефіцієнт корисної дії і продуктивність, гігієнічність, можливість одержання дуже міцних з'єднань, зварювання різноманітних поєднань металів і сплавів, у тому числі й таких, зварювання яких раніше було неможливим або дуже складним. Одночасно експеримент показав, що процес зварювання тертям, на перший погляд такий простий, насправді становить комплекс багатьох складних явищ і що для успішного оволодіння ним та застосування на виробництві потрібно затратити ще багато зусиль.

Сьогодні можна сказати, що в результаті проведеної роботи в Радянському Союзі створено наукові основи процесу зварювання металів тертям і опрацьовано технологію зварювання понад 300 пар різнорідних металів. Новий метод широко впроваджено на підприємствах багатьох галузей промисловості.

Для зварювання тертям створено серію універсальних машин-напівавтоматів, кілька автоматів, а також машини спеціального призначення, зокрема для зварювання ріжучого інструменту. Організовано серійне виробництво таких машин.

Особливо великий ефект дає зварювання тертям в інструментальній промисловості завдяки високій продуктивності процесу, значному зниженню витрат дорогої швидкоріжучої сталі, високій якості з'єднань і автоматизації.

Зварювання тертям,— або, як його нерідко називають за кордоном, «російське зварювання» — почало поширюватися і в інших країнах. В США, Англії, Японії проводяться дослідження, проєктується і випускається обладнання.



Так, Британський інститут зварювання опрацював агрегат для зварювання тертям труб діаметром до 15 дюймів (38 см), а нещодавно було створено зварювальний агрегат для зварювання тертям труб великого діаметру — до 36 дюймів (близько 92 см).

До складу агрегату (мал. 8) входять два дизельні двигуни 1 потужністю по 600 кВт, що змонтовані на гусеничному ході, потужні трансмісійні насоси 2, трансмісійні двигуни 3 і жорстка система гідравлічного управління. Один кінець приварюваної труби 4 закріплюється в поворотній затискній обоймі 5, а другий підтримується за допомогою опорного ролика 6. Внаслідок обертання між приварюваною й нерухомою трубою виникає тертя, кінці труб розі-

гріваться, стискаються і після охолодження утворюється зварний шов 7. Агрегат завантажується кількома трубами 8, які треба зварити. Керує агрегатом оператор, який поміщається в кабіні 9. При випробуваннях агрегата дослідники жодного разу не зіткнулися з проблемами утворення тріщин у трубах. Зварні з'єднання виявлялися такими ж міцними, як і основний метал, шви були досить високоякісними.

Як відбувається теплопередача?

Кожний знає, що коли дотикаються одне до одного двоє тіл з різними температурами, то гаряче тіло охолоджується, а холодне нагрівається. Цей процес триває доти, доки температури обох тіл не зрівняються. Гаряча плита нагріває холодну каструлю, повітря в кімнаті нагрівається від батареї тощо. Таких прикладів можна навести безліч. Усі вони підтверджують: *в результаті теплопередачі енергія передається від гарячого тіла до холодного.*

Теплопередача може відбуватися кількома способами. Наприклад, жила кімната охолоджується внаслідок передачі енергії через стіни будинку, частина енергії з повітрям виноситься назовні і, нарешті, сонячні промені, проникаючи крізь вікна в кімнату, нагрівають предмети, що містяться в ній.

У першому випадку енергія передається через тверду стіну в результаті теплопровідності. Частинки твердого тіла коливаються навколо положень рівноваги, причому інтенсивність коливань в різних місцях стіни неоднакова. Оскільки на внутрішній поверхні стіни температура найвища, а на зовнішній — найнижча, то молекули, які лежать на внутрішній поверхні стіни, коливаються інтенсивніше від інших молекул і ніби розгойдують розміщені

поблизу молекули. Так енергія від одних частинок передається до інших і переходить від внутрішніх шарів стіни до зовнішніх.

Отже, теплопровідність — це процес передачі енергії, який зумовлюється тепловим рухом молекул або атомів речовини (у металах — вільних електронів).

У наведеному прикладі передачі енергії через стіну будинку температура в різних місцях стіни може тривалий час залишатися незмінною. Це пояснюється тим, що частинки, які лежать на внутрішній поверхні стіни, передають енергію свого руху частинкам, які розміщені всередині стіни, а самі дістають таку саму кількість енергії від кімнатного повітря. Частинки, що містяться всередині стіни, передають цю енергію одна одній, у тому числі і частинкам, розміщеним на зовнішній поверхні стіни, а зовнішні частинки — молекулам атмосферного повітря.

А тепер давайте на кілька хвилин завітаємо в цирк. Фокусник розкладає на столі в один ряд кілька монет і повідомляє, що в нього витончений нюх. Потім він зав'язує собі очі, повертається спиною до столу і просить, щоб хтось з глядачів узяв у руку одну з монет, потримав її деякий час і знову поклав на стіл у будь-яке місце ряду. Після того як глядач покладе монету, фокусник нахиляється над столом і робить вигляд, що по черзі обнюхує монети. А насправді він дотикається кінчиком носа до кожної монети. «Обнюхавши» монети, фокусник безпомилково вгадує, яку з них тримав у руках глядач.

У чому секрет фокуса? Кінчик носа є дуже чутливим термометром. Ним можна виявити різницю температур навіть порядку $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ось чому фокусник відчуває, яка монета тепліша від інших. Адже в руках глядача вона встигла нагрітися.

Цей фокус ґрунтується на різній теплопровідності речовин. Наприклад, метали, камінь, бетон тощо характеризуються доброю теплопровідністю, а дерево, скло, азбест, полістирол і ще деякі пластмаси мають значно меншу теплопровідність. Це означає, що матеріали першої групи набагато швидше й більше нагріваються за рахунок кількості теплоти, що його віддають навколишні тіла. Спробуйте босими ногами стати на холодну металеву пластину чи рукою доторкнутися до металевої ручки чайника з кип'ятком. Безперечно, якби пластина чи ручка були дерев'яними або пластмасовими, то менше відчувалася б різниця температур.

Теплопровідність тіла зумовлюється його молекулярною будовою, від якої залежить здатність частинок обмінюватися між собою енергією. Метали містять так звані *вільні* електрони, які добре передають кінетичну енергію від одних атомів до інших.

Найвищу теплопровідність має срібло, за ним ідуть мідь, золото, алюміній, залізо, свинець. Теплопровідність усіх рідин (крім розплавлених металів) значно менша, ніж теплопровідність металів. Теплопровідність води, наприклад, у тисячу раз менша від теплопровідності міді. Гази мають ще меншу теплопровідність, ніж рідини. Такі речовини, як дерево, вата, вовна та ін., які містять у собі велику кількість повітря, є дуже поганими провідниками тепла.

Будівельні й теплоізоляційні матеріали у більшості випадків пористі. Пори заповнюються повітрям, яке має дуже погану теплопровідність, тому матеріал є добрим теплоізолятором. Пористість у теплоізоляційних матеріалах може бути як природною, так і штучною. Поризацію теплоізоляційних матеріалів здійснюють різними методами: добавляють до кераміки, цементу чи іншого матеріалу піно-

утворювальну речовину або окремо приготовлену піну; вводять у матеріал добавки, які потім вигоряють; використовують газоутворюючі речовини, які хімічно взаємодіють з матеріалом. Так виготовляють різного виду ніздрюваті (пористі) бетони: піно- і газобетон (на основі цементу), піно- і газосилікат (на основі вапна і піску), піно- і газогіпс (на основі гіпсу), піномагnezит, пінокераміку, піноскло тощо.

Для прикладу розглянемо, як виготовляють піноскло. Процес його виготовлення нескладний. Беруть звичайне скло і подрібнюють на порошок. Потім цей порошок змішують з невеликою кількістю газоутворювача: вугілля, вапна, мармуру. Одержану шихту засипають у форми, які потім поміщають у піч і поступово нагрівають. При 550—600 °С частинки порошку розплавляються і злипаються, утворюючи суцільну плівку. Коли шихта нагрівається до 750—780 °С газоутворювач починає розкладатися. Гази, які при цьому виділяються, намагаючись вирватися з розплавленої маси, спучують її, утворюючи пори. Для завершення процесу скло достатньо протримати протягом 15—20 хв при високій температурі, а потім дати можливість повільно охолонути.

Приблизно таким самим способом виготовляють і пінокераміку, яка особливо широко використовується у космічній техніці для захисту ракет і штучних супутників, космічних кораблів від перегрівання під час проходження через атмосферу.

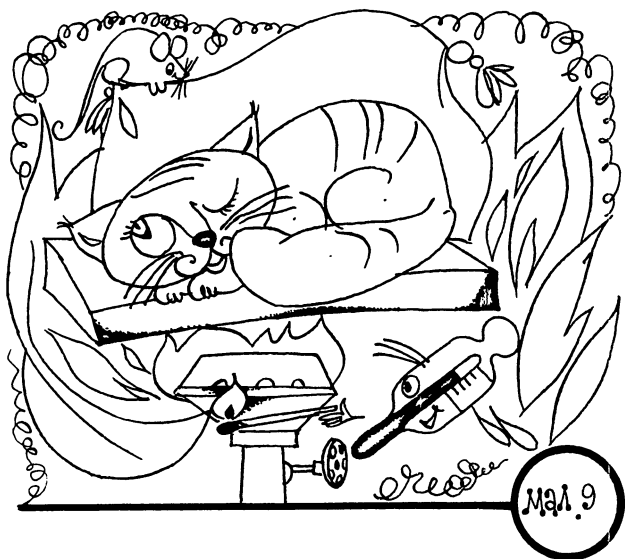
Кожний інженер, технік, будівельник і конструктор повинні знати властивості і закони теплопровідності й теплообміну. Для спорудження будівель треба вибрати такі теплоізоляційні матеріали, щоб стіни будинку взимку не промерзли, а влітку захищали від надмірного нагрівання. Щоб уникнути надмірної теплопередачі, зовнішні стінки парових

котлів, трубопроводи з гарячою водою тощо покривають матеріалом з низькою теплопровідністю: азбестом, повстю, шлаком. В інших випадках, навпаки, буває потреба якнайшвидше передати енергію від одних тіл до інших. Так, для охолодження двигунів в автомобілях і літаках використовують радіатори, які виготовляють з міді; з чавуну роблять батареї центрального опалення; з червоної міді — стержень паяльника, щоб швидше нагрівався і швидше віддавав енергію.

Учені наполегливо працюють над створенням нових матеріалів як з високою, так і з низькою теплопровідністю. Останнім часом створено синтетичні матеріали з добрими теплоізоляційними властивостями, як наприклад, силікон (мал. 9). Під пластмасовою пластиною, виготовленою з цієї речовини, бушує полум'я газового пальника, а кіт спокійно сидить на пластині і в «вус не дме». Йому не пече в п'яти.

Температуростійкі матеріали як з високою, так і з низькою теплопровідністю особливо потрібні в космічній техніці. Під час вільного польоту повернутий до Сонця бік космічного корабля дуже нагрівається, тоді як його затінений бік скований холодом світового простору. А в кабіні корабля космонавтові повинно бути і не холодно, і не жарко. Для цього доводиться підбирати спеціальні матеріали для виготовлення кабіни, продумувати систему регулювання температури в ній.

Особливо сильно нагрівається космічний корабель під час повернення з космосу на Землю. При входженні в густі шари атмосфери корабель гальмує внаслідок тертя об повітря, а також стискання перед ним повітря і утворення так званої ударної хвилі. Колосальна кінетична енергія корабля перетворюється у внутрішню енергію, нагріваючи корабель і



повітря. Поверхня корабля, який повертається з навколосемної орбіти, розігрівається до 6000° — 7000° °С. В ілюмінатори космонавт бачить, як величезні язики полум'я лижуть обшивку корабля (кольорова вклейка V), а в цей час у кабіні температура повітря не перевищує 20° °С. Ось що розповідав про це явище Герман Степанович Титов:

«Я спеціально не закрив один з ілюмінаторів, щоб можна було краще побачити, що відбувається за бортом корабля. Рожеве полум'я навколо корабля в міру занурення в атмосферу поступово згущується, стає пурпуровим, потім темно-червоним. Жаромічне скло покривається жовтуватим нальотом. Сталева обичайка ілюмінатора плавиться, і вогняні бризки проносяться біля стекол. Захоплює видовище!»

(Г. Титов. Голубая моя планета. М.: Воениздат, 1973, с. 155).

Це красиве явище космонавти спостерігають спокійно через те, що і оболонка корабля, і скло ілюмінатора виготовлені з жароміцних матеріалів з низькою теплопровідністю. Ще вищі температури (до 11 000 °С) доводиться витримувати оболонкам космічних кораблів, які повертаються на Землю після відвідин Місяця, Венери, Марса та інших планет.

Як же захищають космічні кораблі від перегрівання під час входження їх у густі шари атмосфери? Нині найбільшого поширення набув спосіб теплозахисту кораблів з використанням так званих сублімаційних термостійких високоміцних покриттів. Що це за сублімаційні покриття і в чому полягає суть теплозахисту з їх використанням?

Ви, напевно, бачили сухий лід, за допомогою якого заморожують морозиво. Це білі бруски, над якими завжди клубочиться пара. Сухим цей лід називають тому, що під час нагрівання він відразу ж випаровується, тобто з твердого стану переходить відразу в газоподібний, минаючи рідкий стан, тобто не залишаючи рідини, як звичайний лід. Сухий лід — це вуглекислий газ, який внаслідок охолодження до температури — 78 °С перетворюється в тверду речовину. Процес переходу речовини з твердого стану відразу в газоподібний і називають *сублімацією*. Таку саму властивість має не тільки твердий вуглекислий газ, а й ряд інших речовин.

Після цього пояснення ми вже можемо зрозуміти суть теплового захисту за допомогою сублімаційних покриттів. На зовнішню поверхню космічного апарату наносять шар речовини, яка при нагріванні до певної температури починає випаровуватися. На нагрівання речовини і особливо на її випаро-

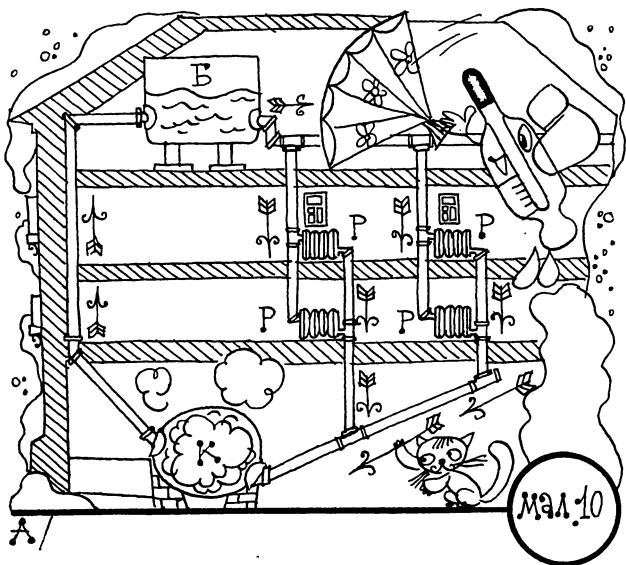
вування витрачається велика кількість теплоти, яка відбирається від поверхні космічного корабля, в результаті цього його температура знижується.

Іноді на поверхню космічного корабля наносять шар такої речовини, яка при нагріванні до високої температури втрачає механічну міцність і потоком повітря маленькими шматочками зноситься з поверхні космічного корабля. На нагрівання цього теплозахисного шару витрачається велика кількість теплоти, яка знову відбирається від поверхні корабля.

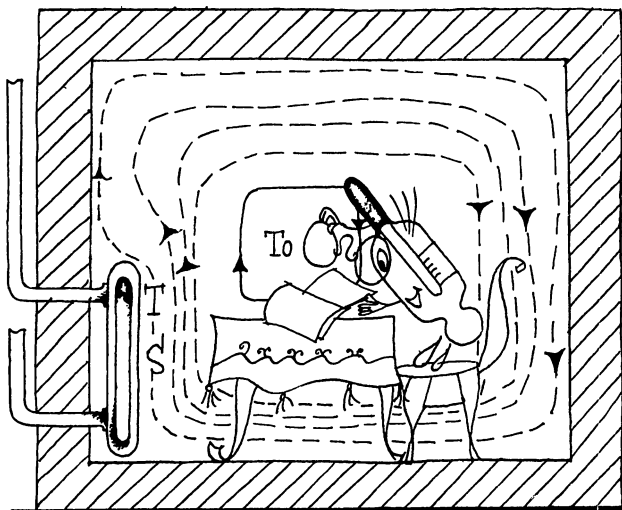
Розглянемо ще один спосіб теплопередачі. Зовсім інакше передається енергія через відкриту квартиру. Якщо на вулиці холодніше, ніж у кімнаті, то тепле повітря, виходячи з кімнати, виносить із собою певну кількість теплоти. Його місце займає холодніше повітря, яке надходить у кімнату. При такому способі теплопередачі енергія передається разом з речовиною — з повітрям. Такий спосіб передачі енергії потоками, що виникають внаслідок розширення (або стискування) тіл під час нагрівання, називають *конвекцією*. Цим способом енергія може передаватися не в будь-якому тілі, а тільки в таких тілах, частинки яких можуть вільно переміщатися одна відносно одної. Тому конвекцією енергія може передаватися тільки в рідинах і газах.

Цей спосіб теплопередачі має велике практичне значення і широко застосовується в техніці. Так, рух води по трубах центрального водяного опалення спричиняється конвекцією (мал. 10). Щоб використати конвекційний рух для переміщення рідини або газу, треба нагрівати рідину (або газ) знизу, а охолоджувати згори.

Конвекція повітря відбувається всередині приміщень. Якщо приміщення обігрівается за допомогою батарей центрального опалення (мал. 10, б), то температура в будь-якому місці приміщення прак-



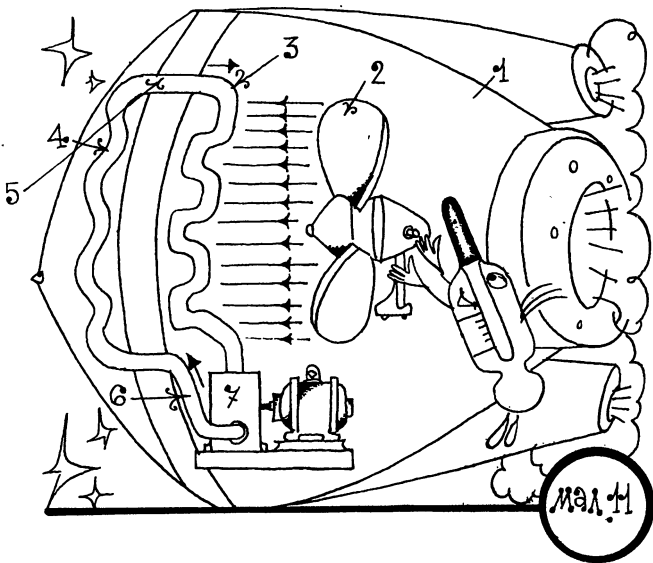
тично встановлюється однакова. Пояснюється це тим, що в приміщенні відбувається безперервне переміщення теплого й холодного повітря, тобто відбувається конвекція повітря. Як би щільно не було зачинено вікно взимку, від нього завжди «дме холодний вітер». Це знову пояснюється конвекційними рухами повітря. Охоложене віконним склом важче повітря опускається вниз, а на його місце піднімається тепле (легше повітря). Такий рух або конвекція повітря зумовлена силою тяжіння Землі. І ось тут виникає цікаве запитання. Як же регулюється температура повітря в кабінах космічних кораблів? Адже під час польоту в кораблі все невагоме, у тому числі й повітря. Отже, там не може



Б/

бути конвекції, тобто переміщування повітря і вирівнювання температури по всьому об'єму кабіни. Якщо в якомусь місці кабіни поставити нагрівник чи холодильник, то вони нагріватимуть чи охолоджуватимуть лише прилеглий шар повітря і не впливатимуть на температуру решти повітря. Біля нагрівника буде жарко, а на деякій відстані — холодно.

Для підтримання температури повітря в кабіні корабля у межах звичної, кімнатної температури 15—20 °С створюють конвекцію штучно. Для цього у відсіку кабіни корабля 1 (мал. 11) встановлюють вентилятор 2 і нагрівний радіатор 3. Охолоджуючий радіатор 4 поміщають ззовні корабля, де панує



космічний холод. Тепла 6 і холодна 5 рідини циркулюють по радіаторах під дією насоса 7.

Вже перші космічні польоти показали, що в кабіні космічного корабля нагромаджується завжди більша кількість теплоти, ніж випромінюється в навколишній простір через стінки корабля. Тому в ньому треба встановлювати радіатори, по яких би циркулювала холодна рідина. Цій рідині і віддає енергію повітря кабіни, якщо його прокачувати через радіатори. При цьому повітря охолоджується. Залежно від температури рідини в радіаторі, а також його розмірів можна відводити енергії за одиницю часу більше чи менше і таким чином підтримувати температуру в кабіні корабля в заданих межах.

На космічних кораблях цим радіаторам доручено виконувати ще одне важливе завдання. Ви знаєте, що людина видихає в навколишню атмосферу газ, у якому міститься значно менше кисню, ніж у повітрі, зате більше вуглекислого газу і водяної пари. Якщо цю водяну пару не вилучати з атмосфери, то вона в ній нагромаджуватиметься, поки не почне осідати на приладах, стінках корабля, зволожуючи все. Звичайно, у таких умовах космонавтові тривалий час жити й працювати шкідливо, до того ж не всі прилади при такій вологості можуть нормально працювати. Радіатори для охолодження повітря кабіни допомагають вилучати надмірну кількість водяної пари з атмосфери кабіни космічного корабля.

Ви, мабуть, спостерігали не один раз, що коли якийсь холодний предмет внести взимку з вулиці у теплу кімнату, то він відразу ж покривається дрібними краплинками води. Звідки вони взялися? З повітря. У повітрі завжди міститься значна кількість водяної пари. При кімнатній температурі (20 °C) 1 м³ повітря може містити близько 17 г води. При підвищенні температури повітря збільшується і кількість водяної пари, яку воно може містити, і навпаки: чим нижча температура повітря, тим менше воно може містити водяної пари. Біля поверхні внесеного у кімнату холодного предмета температура повітря різко знижується і з нього виділяється певна кількість вологи, яка у вигляді роси покриває поверхню холодного предмета.

У космічному кораблі таким холодним предметом є радіатор, по якому протікає холодна рідина. Як тільки у повітрі кабіни нагромаджується надто багато водяної пари, вона починає осідати на трубах радіатора у вигляді роси.

Відбираючи енергію від повітря кабіни корабля, рідина нагрівається і не може далі охолоджувати повітря. Щоб рідина й далі могла виконувати свої функції, її треба безперервно охолоджувати. Але як? Звичайно, можна забезпечити космічний корабель електричним холодильником. Проте в ньому немає потреби. У космосі вистачає холоду. Для охолодження рідини один радіатор встановлюють всередині кабіни корабля, а другий — на зовнішній оболонці корабля, тобто у космічному просторі. Радіатори з'єднано між собою. Підігріта у внутрішньому радіаторі рідина перекачується у зовнішній радіатор, охолоджується в ньому і повертається в охолоджуючий радіатор кабіни.

Розглянуті вище два способи теплопередачі — теплопровідність і конвекція — відбуваються тільки в речовині. Проте можливий також обмін енергією між двома тілами і без речовини. Нагрівання поверхні Землі здійснюється сонячними променями. Сонце випромінює величезну кількість енергії ($3,8 \cdot 10^{26}$ джоулів за секунду), яка поширюється з швидкістю 300 000 км/с у вигляді електромагнітних хвиль. Частину цього випромінювання ми сприймаємо як світло.

Усі тіла безперервно віддають частину своєї внутрішньої енергії внаслідок *випромінювання* електромагнітної енергії. Відомий радянський фізик академік С. І. Вавилов (1891—1951) писав: «На Землі все тепле і тому все світиться видимими чи невидимими променями, світиться і сама людина». Чим вища температура тіла, тим більше електромагнітної енергії воно випромінює. Випромінювання тіл при кімнатній температурі (20 °С) і навіть при температурах до 400—500 °С людське око безпосередньо не сприймає. Це випромінювання називають *теповим*, або *інфрачервоним*. При температурі,

трохи вищій за 500 °С, випромінювання стає видиме для ока, воно темно-червоне. З підвищенням температури випромінювання стає дедалі інтенсивнішим, поступово змінюється колір і при температурі приблизно в 1500 °С стає яскравим, майже білим.

Коли на шляху поширення проміння зустрічається тіло, то воно частково вбирає проміння. Це зумовлюється тим, що енергія випромінювання витрачається на приведення електрично заряджених частинок тіла в інтенсивний рух, а це означає нагрівання тіла.

У «Книжці для читання з фізики» для VI класу говорилося (стор. 22), що коли спрямувати вузький пучок білого сонячного світла через скляну тригранну призму на екран, то призма розкладе пучок на ряд кольорових пучків і на екрані побачимо райдугу.

У 1800 р. англійський астроном Вільям Гершель вимірював температуру різних ділянок райдуги на екрані. При цьому виявилось, що термометр показував найвищу температуру тоді, коли його кульку поміщали в червону частину райдуги. Відразу ж виникає запитання: «А що за червоною частиною?» І логічна (для того часу) відповідь була така: «Кімнатна температура. Адже там немає ніякого світла. Лише тінь». Учений помістив термометр за червону частину спектра. Те, що показав прилад, було парадоксальним: температура тут виявилась вищою за температуру червоної ділянки спектра. Так було встановлено, що у випромінюванні Сонця є промені, невидимі простим оком. Саме їх і назвали інфрачервоними променями (від латинського *infra* — під, нижче). Джерелом таких променів є всяке нагріте тіло. Тому інфрачервоні промені іноді називають тепловими.

Цікаво зазначити, що найбільш досконалі лампи розжарювання, якими користуємося для освітлення,

приблизно 90 % всієї енергії випромінюють у вигляді інфрачервоного і тільки 4—5 % — у вигляді видимого світла, тобто за прямим призначенням. Приблизно 70 % всієї енергії, яка випромінюється Сонцем, несуть невидимі інфрачервоні (теплові) промені. Можливо саме це мав на увазі Козьма Прутков, коли говорив: «Якщо тебе запитують: що корисніше, Сонце чи Місяць? — відповідай: Місяць. Тому що Сонце світить вдень, коли й без того видно, а Місяць — вночі. Але, з другого боку: Сонце краще тим, що світить і гріє; а Місяць тільки світить, і то лише в місячну ніч». (Сочинення Козьми Пруткова. М.: Гослитиздат, 1959, с. 107).

З інтенсивним тепловим випромінюванням доводиться мати справу робітникам гарячих металургійних і ковальських цехів. При випусканні металу з мартенів і домен, при розливанні його у ковші та виливниці випромінюється дуже багато енергії: інтенсивність теплового випромінювання при розливанні металу іноді в 10 разів перевищує теплове випромінювання Сонця в полудень на екваторі. Можете собі уявити, яка спека стоїть у цей час в цеху. У цих умовах підвищується температура тіла людини, відбувається його перегрівання.

Кращий спосіб позбутися цих неприємностей — зменшити випромінювання енергії технологічними агрегатами й розжареними виливками. Для цього їх теплоізолюють, ставлять теплозахисні екрани з металевих листів, покритих азбестом, влаштовують водяні завіси. Але все одно в гарячих цехах дуже жарко. Ось де потрібне кондиційоване повітря! Але об'єми гарячих цехів такі великі, і в них виділяється так багато енергії, що створити кондиціонери достатньої продуктивності практично неможливо.

Американці пробували пристосувати для металургів скафандр космонавта, де є і прилад, що подає

кисень для дихання, і прилад для охолодження скла, є оболонка, яка не пропускає тепла, і мініатюрні кондиціонери, і вентиляційні трубки. Але в такому мундирі на заводі працювати неможливо. Простіший розв'язок запропонували в Донецькому науково-дослідному інституті гігієни і профзахворювань — індивідуальний пневматичний жилет з полімерними трубками, якими надходить свіже повітря. Через гнучкі шланги у трубки від компресорної установки подається повітря, яке приємно охолоджує розігріте тіло. Трубок мало, рухатись вони не заважають.

Співробітники Куйбишевського інституту гігієни пропонують робітникам індивідуальний кондиціонер. Його робота ґрунтується на вихровому ефекті, що його відкрив французький металург Р а н к. У вихровій трубці, сконструйованій професором М. Г. Д у б и н с ь к и м, використано ефект Ранка. Суть цього ефекта полягає в тому, що в центрі вихору повітря завжди холодніше, ніж на краях. У вихрову трубку через сопло вдувають стиснуте повітря. У трубці повітря розділяється на два потоки: гарячий і холодний, які виходять з трубки в різні боки. З'єднайте таку трубку з мережею стиснутого повітря. З одного її боку вийде гарячий вітер, а з другого льодяний. Вихрову трубку можна вмонтувати в робочий костюм металурга, коваля чи кранівника, з'єднати її тонким шлангом з мережею, і людина дістане чисте прохолодне повітря у будь-яку спеку. Від таких трубок не відмовляться трактористи, шофери, пожежники. У старовину, індійські зброярі користувалися вихровим ефектом для загартування свого знаменитого булату. Тепер цей ефект використовується в мирних цілях.

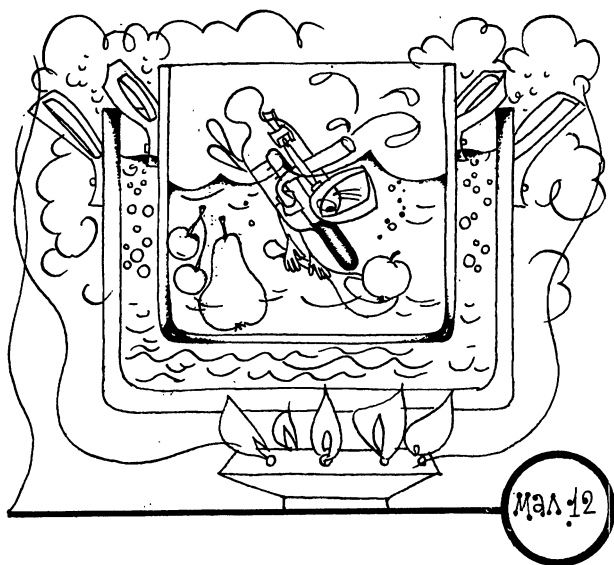
Таким чином, внутрішня енергія може передаватися трьома способами: теплопровідністю, конвек-

цією і випромінюванням. Складні явища теплообміну, що спостерігаються у природі й техніці, охоплюють усі ці прості способи передачі енергії або є поєднанням якихось двох з них. Але яким би способом не передавалась внутрішня енергія, обов'язково між тілами або частинками тіл, які беруть участь у теплообміні, має бути різниця температур. Якщо температура тіл однакова, то енергія не передаватиметься від одного тіла до другого. Теплообмін випромінюванням між тілами відбувається і при однаковій температурі тіл. Та коли температура всіх взаємодіючих тіл однакова, то тіла випромінюватимуть і поглинатимуть однакову кількість енергії, а тому не буде передачі енергії від одного тіла до другого. У процесі теплообміну температура тіл може залишатися сталою або з часом змінюватися.

Переконатися в тому, що для передачі внутрішньої енергії від одного тіла до другого між ними має бути різниця температур, можна на простому досліді, який легко здійснити у домашніх умовах. Для досліду візьміть дві такі каструлі, щоб одна входила в другу і ручки меншої каструлі спиралися на краї більшої. Налийте в обидві каструлі води до однакової висоти і поставте на вогонь (мал. 12). Через якийсь час вода у великій каструлі закипить, а в меншій каструлі виникнуть лише маленькі пухирці, які нічим не нагадують кипіння. Чому ж не кипить вода у меншій каструлі? Невже не можна її закип'ятити таким способом?

Цікаво, а яка температура води у великій і малій каструлях? Якщо ви опустите у воду термометр, то переконаєтеся, що вода в обох каструлях має температуру 100 °С. То чому ж тоді в одній каструлі вода кипить, а в другій — ні?

Спробуємо з'ясувати всі ці питання. Вогонь пальника нагріває дно великої каструлі теплим



повітрям, яке обтікає каструлю, нагріваються також бічні стінки великої каструлі. Від дна і бічних стінок нагрівається вода в цій каструлі. Її температура поступово підвищується, нарешті досягає температури кипіння (100°C) і вода у великій каструлі починає кипіти. Тепер енергія, яку дає вогонь, затрачається на інтенсивне випаровування води при кипінні. Температура води далі не підвищується. Скільки б не нагрівали воду, яка закипіла, температура її залишатиметься 100°C , поки вся вода не википить.

А що ж відбувається у маленькій каструлі? Від гарячої води у великій каструлі гріється маленька каструля, а від неї налита в маленьку каструлю вода.

Після того як температура води у великій каструлі досягне 100 °С, до такої ж температури нагрівається і внутрішня каструля та налита в неї вода. Вищу температуру внутрішня каструля не може мати, адже температура оточуючої її води не перевищує 100 °С.

Нижчу температуру маленька каструля теж мати не може, оскільки її весь час нагріває вода, яка кипить у великій каструлі. Таким чином, ми прийшли до висновку, що вода у внутрішній каструлі також повинна нагрітися до температури кипіння. Але щоб вода закипіла, треба не тільки надавати їй енергію для доведення до кипіння, а й продовжувати надавати енергію, за рахунок якої утворюються пухирці пари.

У нашому досліді щодо води у маленькій каструлі виконується лише перша умова. Вода тут нагрівається до 100 °С, але більше енергії ця вода не дістає, оскільки температура каструлі така сама, а надходження енергії можливе тільки тоді, коли існує різниця температур. Зовнішня каструля дещо гарячіша за воду, яка в ній кипить (і тільки тому вода може в ній кипіти), оскільки її нагріває вогонь, температура якого ще вища. В той же час температура внутрішньої каструлі точно дорівнює температурі оточуючої її води. Вода у внутрішній каструлі буде кип'яченою, оскільки це залежить не від самого кипіння, а тільки від того, досягла вона температури 100 °С чи ні. Враховуючи це, у внутрішній каструлі можна сміливо кип'ятити молоко і не боятись, що воно від кипіння витече з каструлі. При цьому не треба й стежити за молоком.

«Бачу», теплоту!

Коли ми бачимо якийсь предмет, це означає, що наше око сприймає його випромінювання. Сонце випромінює світло всіх кольорів.

Таємниче інфрачервоне випромінювання з моменту його відкриття не дає спокою дослідникам. Вони встановили, що у повній темряві змія легко дізнається під яким кущем притаїлася миша: її інфрачервоні приймачі — тонісінькі мембрани, розміщені нижче від очей,— вбирають енергію, випромінювану тілом жертви. При цьому змія відрізняє різницю температур, що становить одну десятитисячну градуса. Тарган розрізняє віддалені предмети навіть тоді, коли їх температура відрізняється від температури навколишнього середовища лише на соту частину градуса.

Ось загадка: наділивши багатьох комах і рептилій здатністю бачити теплові промені, природа чомусь позбавила цього дару людей. Інфрачервоних променів для людського ока ніби не існує. А між тим інформація про температурну картину навколо нас дуже необхідна. Чи не може людина розсунути жорсткі рамки, поставлені природою? Щоб компенсувати «інфрачервону сліпоту», люди змушені орієнтуватися у світі теплового світла буквально навромацьки. Мати, схвильована хворобливим виглядом дитини, прикладає до її лоба губи. Робітники електромашинобудівних заводів, зібравши статор електричного генератора і пропустивши по його обмотці електричний струм, починають обмацувати величезну деталь: шукати гарячі ділянки — ознаку поганої ізоляції між металевими пластинами.

Давно намагались учені знайти засоби, за допомогою яких можна було б точно дізнатись про ступінь нагрятості тіл. Ця потреба — не відчувати, а точно

знати температуру — зростає з розвитком науки і техніки. Сьогодні і вчених, і виробників вже не задовольняють найточніші і швидкодіючі термометри та інші прилади, які вимірюють температуру в окремих точках: спеціалістам треба мати наочну інфрачервону картину навколишнього з усіма її відтінками. На допомогу прийшла термографія. *Термо* — «теплота», *графо* — «пишу». Але як теплота може писати? Ми не бачимо інфрачервоного випромінювання. Інтуїтивно ми відчуваємо, що інфрачервоне випромінювання є тепловим: дивлячись на оксамитові темно-червоні пелюстки жоржин, ми мимоволі милуємося їх «теплим» кольором. І, навпаки, голубі й зелені кольори здаються холодними.

Учені знайшли спосіб перетворювати теплове випромінювання предметів у чорно-біле зображення цих предметів, схоже на телевізійне (кольорова вклейка VI). При цьому предмет може знаходитися і в лісі, і в темряві, і навіть за стіною. Його видно тоді, коли він нагрітий сильніше, ніж навколишні тіла. Тепліші місця на екрані виглядають як світлі плями, холодніші — темними. Так можна зробити теплову фотографію.

Про те, наскільки нагрітий предмет, нас інформував до цього лише дотик. Але це відчуття набагато бідніше за зір. Термографія є могутнім «зоровим» апаратом. Вона дає можливість бачити те, що раніше було недоступним.

Нічні зйомки... Людина вночі тепліша за дерева, землю, каміння. На тепловій фотографії її видно чітко. Нещодавно в одному науковому журналі можна було побачити фотографію — сірий фон і посередині яскрава світла пляма, яка обрисами нагадує людину. Знімок, зроблений вночі, і справді зображує людину в лісі.

Над створенням апаратів, які б допомогли про-

никнути у світ багатобарвної темряви, вчені різних країн б'ються не один десяток років. Зробити видимими для людського ока теплові промені виявилось надзвичайно складною проблемою. І все-таки десятки апаратів різних типів і призначення вже створено і випускаються серійно. Серед них — тепловізори, опрацьовані вченими Державного оптичного інституту імені С. І. Вавилова, Всесоюзного електротехнічного інституту імені В. І. Леніна та інших наукових установ.

Сучасне інфрачервоне «око» тепловізора здатне на відстані виявляти теплові контрасти, що становлять десяті і навіть соті частини градуса. А це дає можливість швидко розв'язувати наукові і практичні проблеми. Наприклад, нещодавно у цехах лєнінградського заводу «Електросила» з'явився невеликий тепловізор. Вміщений у порожнину статора електричного двигуна, він старанно оглядає внутрішню поверхню складної деталі і виявляє гарячі точки. Усі відхилення в температурі реєструються з точністю до 0,1 градуса. Схожі установки можуть відшукувати дефекти у великих металевих виливках, знаходити вогнища «хвороби» у двигунах, генераторах, насосах тощо.

Незамінною є термографія у промисловості, особливо у металургії і там, де потрібно знати режим роботи печі або нагрівника: тепла зйомка миттю покаже «гарячі» небезпечні місця. Уявіть собі, що на потужній лінії електропередачі зіпсувався ізолятор. Це дуже небезпечно. Але як його відшукати? У цьому може допомогти термографія. Через ділянку ліній електропередачі, де зіпсувався ізолятор, проходить електричний струм і нагріває його. Такий ізолятор тепліший і «впадає в око» тепловізору. Сам прилад можна поставити на вертолїт і літати прямо над проводами. За один день

можна перевірити 300 кілометрів лінії електропередачі.

Давно відійшли в історію пожежні каланчі і вишки, але аж ніяк не пожежі. Особливо небезпечні вони в наукових лабораторіях, на нафто- і газопромислах, у тайзі. Багато років пробують виготовити надійний автоматичний сигналізатор пожежі. Завдання не з простих: адже від приладу вимагається майже миттєва реакція на виникнення полум'я.

За допомогою термографа та тепловізора можна миттєво відшукати небезпечну «гарячу» точку. Інфрачервоне око, оглядаючи землю з літака, добре бачить маленькі багаття під деревами, і, незважаючи на густий дим, межі великих лісових пожеж.

Встановлений на вертольоті чи наземному візку тепловізор стежитиме за станом міських водопроводів, нафтопроводів, дренажних систем, напрямом океанських течій і косяків риб, бачитиме тріщини у льодах, занесені снігом, встановлюватиме, чи добре зрошені поля, чи достигли пшениця і жито.

Мабуть, найбільш цінну допомогу надала термографія медицині. Справа в тому, що тіло людини буквально світиться в інфрачервоному світлі. І це й не дивно: кожний квадратний сантиметр людської шкіри безперервно випромінює енергію. Але головне те, що це невидиме сяйво, а отже, і температура, неоднакові в різних ділянках тіла і залежать від індивідуальної анатомічної будови, фізіологічних процесів, які відбуваються в даний момент. Якщо шкіру людини протерти спиртом, вимастити чорною фарбою (така вже технологія цих експериментів) і зверху покрити ще шаром так званого рідкого кристалу — органічної сполуки на основі холестерину, — то станеться дивовижне: людина перетвориться у живу райдугу. У найбільш гарячих точках рідкий

кристал світитиметься фіолетовим світлом, там, де шкіра холодніша,— синім. І так до червоного...

Ось саме ці райдужні переливи і цікавлять медиків. Адже ще знаменитий лікар стародавнього світу, засновник медицини Гіппократ говорив, що коли якась частина тіла в людини тепліша чи холодніша, то ця людина хвора. Отже, вносячи поправки до індивідуальних особливостей теплового свічення тіла людини, можна за інфрачервоною картиною шкіри судити про стан здоров'я пацієнта, про порушення в роботі внутрішніх органів.

Метод рідких кристалів складний і незручний. Для підготовки ж до тепловізійного обстеження пацієнтові достатньо посидіти роздягнутим 10—15 хвилин, щоб нормалізувати теплові характеристики шкіри. Сьогодні з допомогою учених Державного оптичного інституту імені С. І. Вавилова тепловізійні і термографічні центри створено в кількох лєнінградських медичних установах. Спеціалісти інституту швидкої допомоги імені Джанелідзе використовують інфрачервоні промені для дослідження переломів, вивихів, ран, синяків, порушень периферійного кровообігу та для спостереження за процесом заживлення пошкоджених тканин — усе це відображається у вигляді теплових візерунків на шкірі.

Особливо енергійно розвиваються дослідження, пов'язані з використанням інфрачервоного проміння для діагностики, клінічної оцінки і спостереження за лікуванням злоякісних і доброякісних пухлин. Ще в 1951 р. вчені встановили, що в місці ракової пухлини, наприклад, температура на кілька десятків градусів вища. Але ж градусник всередину тіла не вставиш. Лише термографії це під силу. На тепловій фотографії чітко видно «перегріті» ділянки: вони світлішого кольору. Так само виявляються інші пухлини і осередки запалювальних процесів у тілі.

Тепловізори роблять лише перші кроки в науці. Чим досконалішими вони будуть, тим глибше вчені зможуть проникнути у маловивчений світ інфрачервоного випромінювання, тим легше буде лікувати хвороби, шукати корисні копалини і джерела води, контролювати заводську технологію, вивчати фізичні і хімічні процеси.

Останнім часом з'ясувалося, що інфрачервоне випромінювання може допомогти вченим у вивченні Всесвіту. Порівняно недавно було встановлено, що приблизно 80 % енергії, яка виділяється у видимій нами частині Всесвіту, припадає на інфрачервоне проміння. Енергія видимого світла, радіохвиль, рентгенівських і ультрафіолетових променів меркне порівняно із сумарним інфрачервоним випромінюванням. Теплове випромінювання нашої планети було вперше виміряне з космосу в 1958 р. Тоді ракета підняла на висоту 500 км прилади, за допомогою яких було виявлено інфрачервоне випромінювання верхньої атмосфери. Нині дані про теплове випромінювання Землі використовуються синоптиками.

Особливо значні дослідження Всесвіту за допомогою інфрачервоного випромінювання провели космонавти Олексій Губарєв і Георгій Гречко під час тривалої роботи на станції «Салют-4». За допомогою встановленого на борту корабля інфрачервоного телескопа космонавти вивчали земну атмосферу, поверхню нашої планети, Місяця та інших планет Сонячної системи. Інфрачервоні дослідження Юпітера показали, що ця планета не зовсім холодна, як думали раніше, і що там є окремі гарячі «вогнища», природа яких поки ще невідома.

Можна було б ще багато розповісти про важливе практичне застосування інфрачервоного проміння, зокрема, про так звані прилади нічного

бачення, найпростішим з яких є інфрачервоний бінокль. Такі прилади широко використовуються не тільки у військовій справі, а й у багатьох галузях науки і техніки. Коротко згадаємо про застосування невидимих інфрачервоних променів у криміналістиці.

Інфрачервоні промені вільно проникають крізь фіолетове чорнило і поглинаються барвником копіювального паперу та штрихами графітних олівців, завдяки чому можна прочитати залитий чи густо закреслений текст.

Керівникові однієї з установ докоряли, що він підписав документ, який допоміг злочинцям одержати і привласнити значні матеріальні цінності. Керівник заявив, що підпис його, але потрібно з'ясувати, як він появився, оскільки такі документи завжди підписує заступник. Крім того, в той час, яким датовано документ, його взагалі не було в місті.

Звернулися до експертів. Підпис сфотографували в інфрачервоних променях. На знімку стало чітко видно підпис, хоча зроблено його фіолетовим чорнилом, яке не затримує інфрачервоних променів. Отже, на фотознімку не повинно було бути нічого.

Розгадка виявилась досить простою. Злочинці використали як шаблон старий документ із справжнім підписом. За допомогою загостреної палички і копіювального паперу вони перенесли його на бланк фіктивного документа, а потім навели підпис чорнилом.

Нагріти, щоб швидше охолодити

Перед вами дві склянки. Одна — з кип'ятком, а друга — з водою з-під крану. В якій з них вода замерзне швидше, якщо склянки виставити на мороз?

Відповідь здається очевидною: звичайно, кип'яток замерзатиме довше. Адже спочатку гаряча вода охолоне, а потім почне замерзати. Та коли виставити взимку на вулицю дві дерев'яні балії з холодною і гарячою водою, то гаряча вода замерзне швидше за холодну. Закриємо обидві балії кришками — такого явища не спостерігатимемо. Наллємо воду в металеві бочки — знову нічого незвичайного не станеться. Явище, яке здається на перший погляд парадоксальним, має просте фізичне пояснення.

Шукати пояснення цього явища змусив, як твердить американський фізичний журнал, школяр Ерасто Мпемба з жаркої Танзанії. Він провів простий дослід, що не раз згодом повторювався у багатьох лабораторіях. Він поставив у холодильник дві склянки з водою: одну — з підігрітою, другу — з водою при кімнатній температурі. Виявилось, що іноді гаряча вода замерзає швидше (кольорова вклейка VII). Було запропоновано кілька пояснень.

Пояснення перше. Внаслідок нагрівання з рідини виділяються розчинені гази, саме вони є теплоізолятором і сповільнюють охолодження.

Та коли провели дослід в безповітряному просторі з негазованою водою, то дістали такий самий результат — тепла вода замерзала швидше за холодну.

Пояснення друге. Нагріта посудина, яку поставлено в холодильник, розтоплює паморозь, і між дном посудини та підставкою, на якій вона стоїть, виникає тонка рідка плівка. Тому енергія через цю плівку відводиться значно швидше, ніж через іній, на якому стоїть друга посудина.

Досліди з азбестовою сухою підкладкою, яка майже не теплопровідна, спростували й цю гіпотезу.

Третє пояснення. Швидкість охолодження тіла прямо пропорційна температурі його поверхні,

а рідина у відкритій посудині охолоджується переважно з верхнього шару, який весь час підтримується гарячішим за рахунок нижніх шарів. Охолоджуючись в результаті випаровування швидких молекул, верхній шар зменшується в об'ємі, важчає, тоне, а наверх спливають тепліші шари. Круговорот тим активніший, чим більша різниця температур. А отже, гаряча вода швидше й охолоджується.

Проте й це пояснення потребувало уточнення.

Вода замерзає при 0°C . Спочатку вона охолоджується до цієї температури, а потім починає замерзати. Це однаковою мірою стосується як холодної, так і гарячої води. А як охолоджується вода?

Охолодження води відбувається в результаті двох процесів: теплообміну з навколишнім середовищем і випаровування. Якщо посудину зроблено з доброго теплоізолятора, наприклад з дерева чи скла, то теплообмін через стінку буде незначним і охолодження відбуватиметься в основному за рахунок випаровування з поверхні.

Внаслідок випаровування над поверхнею рідини утворюється пара. Якщо посудина з водою закрита, то пара над рідиною досить швидко насичує простір і тоді охолодження відбувається майже за рахунок теплообміну.

Зовсім інакше охолоджується вода у відкритій посудині. При випаровуванні маса води весь час зменшується і тому, коли температура дорівнюватиме 0°C , у гарячій посудині виявиться значно менше води, ніж у холодній. Після цього рідини в обох посудинах охолоджуватимуться однаково. Та оскільки в гарячій посудині води залишилось менше, то вона й замерзне швидше. Це експериментально довів канадський фізик Келл. В одній термосі з широким горлом він налив по $1,55\text{ кг}$

води, причому в одному термосі температура води була 88 °С, а в другому 56 °С. Термоси він виставив на вулицю, де температура становила —6,5 °С. Коли температура води знизилася до 39 °С, у гарячому термосі залишилось 1,43 кг води і тому вона замерзла швидше, ніж у холодному термосі. З'ясували, що за час охолодження від 100 до 0 °С випаровується близько 16 % маси води, а при замерзанні — ще 12 %, тобто льоду утворюється на 28 % менше, ніж взято води. Було також встановлено, що від температури кипіння до 50 °С вода охолоджується приблизно в 9 разів швидше, ніж від 50 до 0 °С. Отже, за певних умов, коли теплообмін через стінки посудини незначний, а вільна поверхня рідини досить велика, кип'яток замерзає швидше, ніж вода з-під крану.

Розрахунки показують: найдовше не піддається замерзанню вода кімнатної температури (23 °С). При інших температурах, як вищих, так і нижчих, вона може замерзати швидше.

Чи не тому в північних країнах льодові гірки здавна поливають гарячою водою? Адже в народних звичаях немає рекомендацій необґрунтованих, які б суперечили природі.

І лише після публікації великої кількості статей про «Мпемба-ефект» учені пригадали, що ще 360 років тому знаменитий англійський мислитель Френсіс Бекон твердив: «Тепла вода замерзає швидше за холодну». Його тоді підняли на сміх, ніхто не вірив у дивну поведінку простої рідини.

Що вимірює термометр?

Під дією полум'я чи сонячного випромінювання всі тіла нагріваються, тверді тіла можуть плавитися, згоряти, рідина кипіти й випаровуватись. Певна

кількість теплоти передається тілам, і їхній тепловий стан змінюється.

У давнину люди не вміли вимірювати зміну теплового стану тіла. Але як вони могли це зробити, якщо тривалий час не знали, що таке внутрішня енергія.

Де могли люди взяти прилад для порівняння ступеня нагрітості тіл,— не вічно ж міряти долонею, на дотик?

Температура — одна з тих фізичних величин, про які ми дізнаємося задовго до вивчення фізики. Уже в ранньому дитинстві ми переконаємося, що словам гаряче, тепле, холодне, які відображають наші відчуття, відповідають різні значення температури. Нам терпляче пояснюють, що на вулиці низька температура, холодно, а тому треба вдягатися тепліше. Ми дуже рано на власному досвіді дізнаємось, яка — нормальна температура тіла в здорової людини, а якщо температура тіла підвищується, то нам треба кликати лікаря, ковтати таблетки і робити уколи.

Ми настільки звикаємо до поняття температури, що звичайно не задумуємося над тим, наскільки ця величина своєрідна порівняно з іншими, добре відомими нам з повсякденного життя, такими, як маса, об'єм, довжина тощо. А між тим відмінність між ними дуже істотна. Якщо ми візьмемо 10 гир по 1 кг кожна і складемо разом, то дістанемо масу 10 кг. Десять стержнів завдовжки 1 м кожен матимуть довжину 10 м, якщо їх приставити один до одного. Коли замість однієї лампи увімкнути дві чи три такі лампи, то освітленість у кімнаті зросте вдвічі чи тричі. Та коли ми у ванну наллємо 10 відер води, температура якої 15 °С, то дістанемо воду, температура якої також 15, а не 150 °С.

Температури тіл не додаються, як їхні маси, об'єми, довжини тощо. У цьому одна з важливих особливостей температури. З цією особливістю пов'язаний і спосіб вимірювання температури.

Щоб виміряти довжину тіла, треба порівняти його з прийнятою одиницею довжини, тобто прикласти до нього лінійку. Визначити масу тіла означає порівняти її з іншою масою, прийнятою за одиницю. Адже і довжина, і маса тіла відповідно дорівнюють сумі довжин і мас його частин. А температуру так виміряти не можна.

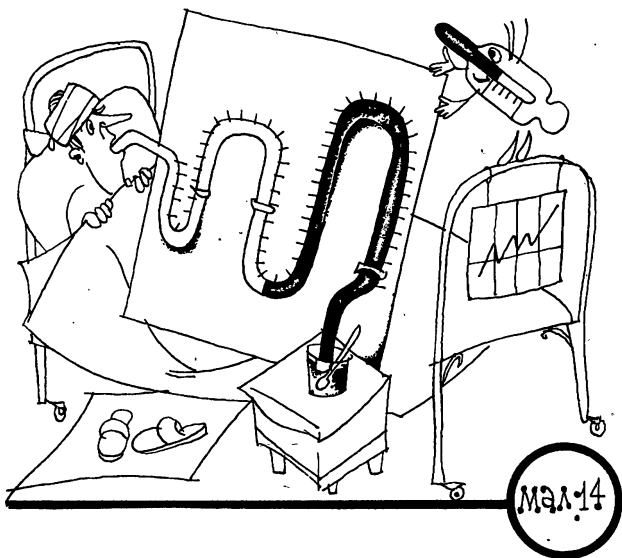
Уявлення про температуру увійшло в науку на основі нашого чуттєвого сприймання. Наші відчуття дають можливість розрізняти якісні градації нагрятості тіла: теплий, холодний, гарячий тощо. Людина відчуває різницю температур, що становить приблизно один градус. Досвідчений терапевт виявить у пацієнта підвищення температури всього на 0,2 — 0,3 градуса. Проте кількісну міру ступеня нагрятості, придатну для науки, не можна встановити за допомогою чуттєвого сприймання.

Відчуття суб'єктивні. Залежно від стану руки одне й те саме тіло на дотик може здаватися і теплим, і холодним. Зануримо, наприклад, одну руку в гарячу, а другу — у холодну воду і потримаємо їх там протягом деякого часу. Потім обидві руки опустимо в воду з кімнатною температурою. Перша рука відчує холод, а друга — тепло. Усі відчувають холод при повільному входженні у воду під час купання. Це відчуття швидко зникає і змінюється почуттям бадьорості і задоволення після того, як в результаті повного занурення у воду тіло плавця дещо охолоне. Чуттєва оцінка температури дуже залежить від теплопровідності тіла. Наприклад, металеві предмети на дотик у кімнаті здаються холоднішими від дерев'яних. А коли їх нагріти до

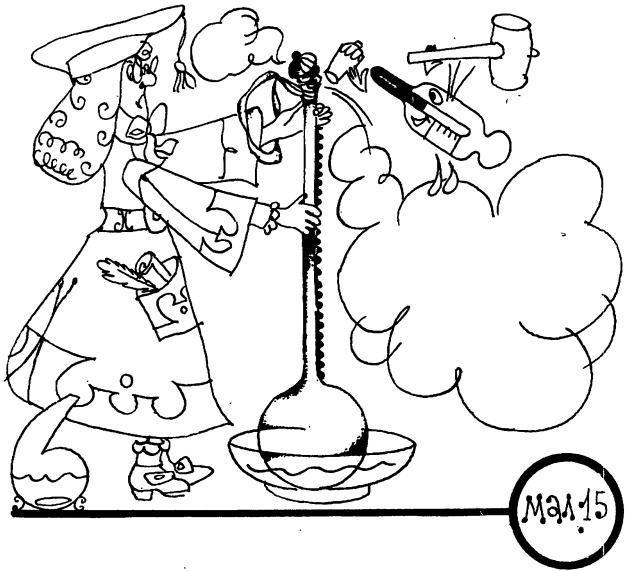


однієї й тієї самої температури, вищої за температуру руки, то відчуття будуть протилежними попереднім. Почуттєву оцінку температури можна застосовувати лише в досить вузькому температурному інтервалі. Звичайно визначити на дотик ступінь нагрятості розплавленого заліза чи зрідженого повітря неможливо.

Прилад для вимірювання температури — *термометр* — вперше винайшов Галілей десь приблизно в 1592 р. (саме слово «термометр» вперше зустрічається в літературі у 1624 р.). Спосіб вимірювання температури, запропонований Галілеєм, принципово не відрізняється від того, яким користуються і в наш час. Схема винайденого Галілеєм приладу показана на мал. 13.



Це була скляна трубка, один кінець якої закінчувався балончиком, а другий — був відкритим. Дію цього приладу Галілей демонстрував на лекціях студентам Падуанського університету. Взявши балончик у руку, Галілей нагрівав його, в результаті чого повітря в балончику розширювалось і частково виходило з нього. Потім опускав трубку відкритим кінцем у підфарбовану воду. В міру охолодження балончика до температури навколишнього повітря під дією атмосферного тиску вода в трубці поступово піднімалась над рівнем води в посудині. Висота підняття води залежала від температури, до якої нагрівався балончик. Ця висота оцінювалась на око, оскільки шкали з поділками прилад не мав. Отже,



за допомогою приладу можна було лише встановити, що балончик нагрівався дужче чи менше, але не можна було з'ясувати значення температури. Цей прилад є повітряним термоскопом, а не термометром. Рух рідини в трубці термоскопа Галілея був зворотнім порівняно із сучасним рідинним термометром.

Зрозуміло, що висота підняття рідини в трубці термоскопа залежала також і від атмосферного тиску, а тому визначення температури за описаним термоскопом не могло бути точним. І все-таки є відомості, що сучасник Галілея лікар і анатом Сантормо з Падуанського університету вимірював зміну температури хворого під час гарячки.

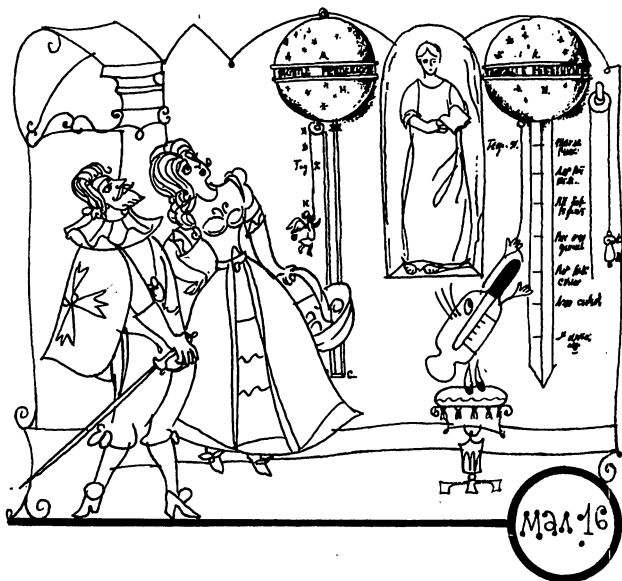
Для цього скляний балончик він вставляв хворому у рот, а потім відкритим кінцем опускав трубку в рідину (мал. 14).

Через кілька років після винаходу Галілея французький фізик Жан Рей сконструював термоскоп, у якому замість повітря використовувалася вода (мал. 15). Це була трубка з вузьким каналом і кулькою на кінці. Але Рей не догадався запаяти трубку зверху, і покази його термоскопа з дня на день змінювалися в міру випаровування води з трубки. У цей час винайшов термоскоп і голландець Корнелій Дреббл.

Комусь з учнів Галілея, мабуть, Торрічеллі, спало на думку зробити термоскоп, у якому б рідина (спирт) розширювалась у трубці від нагрівання. Удосконаленням термометра займалися й інші вчені, зокрема члени так званої Академії досліду у Флоренції. Саме флорентійські вчені першими почали частково відкачувати повітря з трубки термоскопа і заливати відкритий кінець сургучем. Виготовлялись рідинні термометри у вигляді довгих тонких скляних трубок, що закінчувалися маленькою кулькою або циліндриком. Кулька й нижня частина трубки заповнювалися рідиною: спиртом, олією, ртуттю. Часто трубки скручували в спіраль, а самі термометри красиво оздоблювали. Термометри виготовлялись вченими не тільки Італії, а й інших країн. На мал. 16 показано термометри, встановлені на будинку відомого вам фізика, бургомістра Магдебурга Отто Геріке.

Шкали в термометрах виготовляли найрізноманітніші. Кожний конструктор термометра придумував і свій спосіб виготовлення шкали до нього.

Наприклад, термометр Дреббла мав 8-градусну шкалу, а видатний англійський фізик Ісаак Ньютон (1643—1727) опублікував у 1701 р. працю «Про



шкалу ступенів тепла й холоду», в якій описав 12-градусну шкалу. Нуль цієї шкали вчений помістив там, де він міститься й у сучасному термометрі — у точці замерзання води, а 12 градусів відповідали температурі тіла здорової людини.

Щоб вимірювання температури термометром були точними і щоб можна було порівнювати між собою покази різних термометрів, будова їхніх шкал повинна була ґрунтуватись на виборі двох явищ, які в певних умовах відбуваються при одній і тій самій температурі. Приписавши якісь довільні значення цим температурам, ми дістанемо дві сталі основні точки термометра. Відстань між цими точками можна поділити на певну кількість однако-

вих поділок і таким чином дістати проградуїовану шкалу термометра. Учні Галілея за такі сталі точки брали температуру снігу в холодний зимовий день і температуру тіла тварин. Пізніше для вищої сталої точки термометра брали температуру розтопленого масла. Шкалу термометра поділяли на 50, 60, 70 і 100 поділок. Зрозуміло, що і температура снігу, і температура розтопленого масла не були незмінними, а тому й термометри були неточними.

Першим створив практично придатний рідинний термометр голландський складув Даніель Фаренгейт (1686—1736). Сучасників дивувало, що виготовлені Фаренгейтом термометри давали однакові покази. Секрет Фаренгейта полягав у тому, що він дуже акуратно наносив поділки на шкалу, використовуючи для цього дві сталі точки. За нижню основну точку шкали термометра він узяв температуру суміші льоду, звичайної кухонної солі і нашатиря. То була найнижча температура, яку могли штучно дістати в той час. За другу основну точку Фаренгейт прийняв температуру тіла здорової людини, яку позначив числом 12. Відстань між цими основними точками поділив на 12 однакових частин, або градусів, і такі самі поділки наніс з обох боків від сталих точок. Згодом, щоб розмір градуса був зручнішим, числа почали множити на 8. Тоді точка замерзання води або плавлення льоду по новій шкалі стала дорівнювати 32 градуси, а точка кипіння води 212 градусів. Спиртовий термометр Фаренгейт виготовив у 1709 р., а ртутний — у 1714.

Термометри зі шкалою Фаренгейта й досі застосовуються в Англії й США. Тому не дивуйтеся, коли, наприклад, в одному з оповідань американського письменника О. Генрі прочитаєте: «Я виміряв собі температуру і не без задоволення побачив, що в мене 101 градус». Далі автор ділиться своєю радістю з

приводу того, що «сильна гарячка» минула. Звичайно, у цьому оповіданні йдеться про вимірювання температури термометром зі шкалою Фаренгейта. 101 °F за цією шкалою відповідає приблизно 38,3 °C. Це температура підвищена, але О. Генрі мав підстави для радощів, бо гарячка спадала.

В іноземній художній літературі ви можете знайти дані про температуру, виміряну як термометром Реомюра, так і термометром Фаренгейта. Наприклад, в одному з оповідань Джека Лондона про подорож взимку по Алясці читаємо:

— А ви знаєте, скільки градусів? — запитав лікар. Месснер похитав головою.

Ну, так я вам скажу. Сімдесят чотири нижче від нуля на спиртовому термометрі, що в мене на нартах.

— Тобто сто шість нижче за точку замерзання? Холоднувато для подорожі, чи не так?

— Справжнє самогубство,— вирік лікар. (Джек Лондон. Сочинения, т. 2, Госиздат художественной литературы, М., 1954, с. 180).

Безперечно, у цьому оповіданні йдеться про термометр Фаренгейта. Саме цей термометр може показати на Алясці таку низьку температуру і до того ж лише в цьому термометрі температура замерзання води не дорівнює нулеві.

У 1731 р. відомий французький фізик і лікар Рене Антуан Реомюр (1683—1757) у мемуарах Паризької академії наук описав створений ним термометр і його шкалу. Він наповнював термометр розчином спирту у воді, а за основні точки шкали термометра брав температуру танення льоду і температуру кипіння води. У результаті досліджень Реомюр встановив, що в результаті нагрівання від температури танення льоду до кипіння води об'єм останньої збільшується на 0,008 початкового об'єму. Тому він взяв за температуру замерзання води

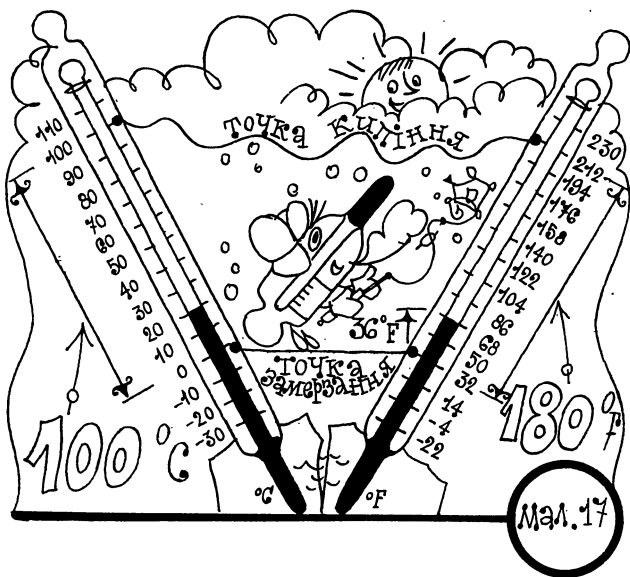
0 градусів, а кипіння — 80 градусів і розділив відстань між цими точками на 80 поділок. За шкалою Реомюра вода кипить при 80 градусах. Градус шкали Реомюра більший за градус шкали Фаренгейта.

У сучасній науці і техніці найбільш поширена шкала, що була запропонована в 1742 р. шведським фізиком і астрономом Андерсом Цельсієм (1701—1744). За постійні точки шкали він узяв температуру замерзання і кипіння води і відстань між цими точками поділив на 100 частин, але чомусь нуль помістив у точці кипіння води, а 100 — у точці її замерзання. Проте «перевернута» шкала Цельсія не набула популярності і його сучасник ботанік Карл Лінней (1707—1778) запропонував перевернути шкалу. Градуси, розміщені від нуля по цій шкалі, вважаються додатними, нижче — від'ємними.

Створювалися й інші термометричні шкали. Наприкінці XVIII ст. їх налічувалось 19.

У Росії в першій половині XVIII ст. поширились ртутні термометри, виготовлені академіком Петербурзької академії наук Делілем. Довжина їх була близько 80 см, шкала поділялась на 150 поділок, причому за нуль шкали брали температуру кипіння води, а температуру танення льоду вважали 150 градусів. Аналогічні термометри виготовляв і російський учений М. В. Ломоносов.

У 1898 р. великий російський хімік Д. І. Менделєєв (1834—1907) організував теплову лабораторію при Головній палаті з мір та вагів (нині Всесоюзний науково-дослідний інститут метрологічної служби). Уся діяльність Головної палати та її філіалів зводилася власне до перевірки медичних термометрів. Інтерес медицини до термометрії виник у 1868 р., коли лікар Віндерліх провів спостереження над 25 тисячами пацієнтів і опублікував



дані про зв'язок температури зі станом хворих лихоманкою. Результати обстеження свідчили про постійність температури в здорових людей і коливання її у хворих, яке часто вказувало на природу і характер недуги.

Давайте з'ясуємо, якій температурі за шкалою Цельсія відповідають 74 градуса нижче від нуля за Фаренгейтом. У цьому нам допоможе мал. 17. Між точками замерзання й кипіння води розміщується 180 градусів Фаренгейта і лише 100 градусів Цельсія. Це означає, що один градус Фаренгейта відповідає $100/180$ або $5/9$ градуса Цельсія. І навпаки, градус Цельсія відповідає $9/5$ градуса Фаренгейта. Крім того, треба пам'ятати, що температуру за

стоградусною шкалою Цельсія відраховують, починаючи від точки замерзання води (0°C). Таким чином, щоб перевести -74 градуси за Фаренгейтом (-74°F) у градуси за шкалою Цельсія, треба спочатку 32 градуси відняти від показу термометра за Фаренгейтом:

$$-74 - 32 = -106 \text{ (градусів)}.$$

Потім знаходимо стоградусний еквівалент -106°F :

$$\frac{5}{9} \text{ від } -106 \text{ становить } \approx -58,8 \text{ (}^{\circ}\text{C)}.$$

Справді холодно.

Розрахунки можна записати у вигляді формули так:

$$C = \frac{5}{9}(F - 32).$$

Розв'язавши рівняння відносно F , дістанемо формулу для переведення показів термометра Цельсія у покази термометра Фаренгейта:

$$F = \frac{9}{5}C + 32.$$

Покази нижче 0° кожної шкали треба вважати від'ємними числами і підставляти їх у рівняння за алгебраїчними правилами.

Широке розповсюдження в науці дістала так звана *абсолютна* (або кельвінова) *шкала температур*. Запропонував цю шкалу в 1848 р. відомий англійський фізик Уільям Томсон (лорд Кельвін). Градус абсолютної шкали називають кельвіном і позначають літерою K . За абсолютною шкалою різниця між температурою плавлення льоду і кипіння води дорівнює 100 градусів. Отже, розміри градуса за шкалою Цельсія і за абсолютною шкалою однако-

ві, тобто $1 \text{ K} = 1 \text{ }^\circ\text{C}$. Але температура плавлення льоду за абсолютною шкалою вважається не $0 \text{ }^\circ\text{C}$, а за рішенням Міжнародної генеральної конференції з мір та вагів від 1948 р. за $273,16 \text{ K}$. За нуль абсолютної шкали (0 K) прийнято найнижчу можливу температуру, яку називають *абсолютним нулем*. За шкалою Цельсія цій температурі відповідає $-273,16 \text{ }^\circ\text{C}$. Пізніше, у IX класі, ви дізнаєтесь, чому ніякими способами не можна дістати температуру, не тільки нижчу за абсолютний нуль, а навіть таку, що дорівнює абсолютному нулеві. Оскільки градус Цельсія і кельвін вважаються однаковими, то легко встановити зв'язок між температурами, які відраховуються за обома шкалами температур:

$$t = T - 273,16,$$

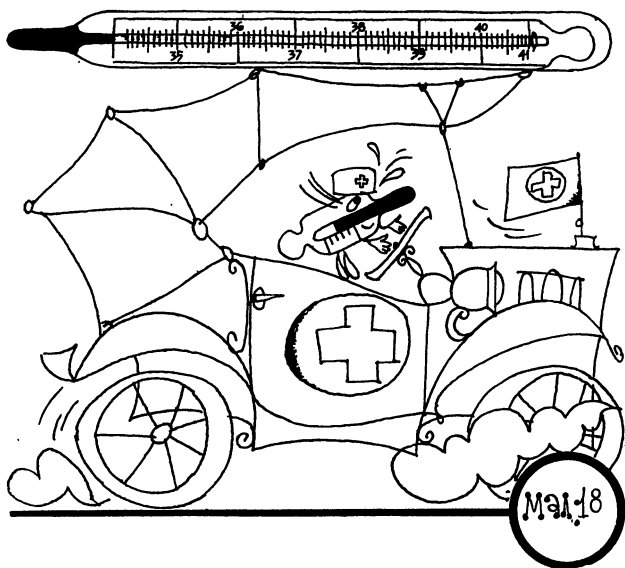
де t — температура за шкалою Цельсія, T — та сама температура за абсолютною шкалою.

Винайдення термометра в XVII столітті було величезним досягненням. Недаром простий прилад пізніше було названо «могутнім інструментом у титанічній боротьбі між істиною і помилкою». Вчені з новою силою зажадали відповіді: Що ж ми вимірюємо? Що є температурою? Відповіді на ці запитання ви знайдете у підручнику з фізики для IX класу. Температура тіла визначається середньою кінетичною енергією його молекул. Чим вища температура тіла, тим більша середня кінетична енергія його молекул. Якщо два тіла мають різну температуру, то вищою є температура того з них, яке передає енергію іншому. Температура тіла — це величина, яка визначає, чи віддаватиме дане тіло енергію іншим тілам, чи, навпаки, одержуватиме від них. Таке визначення температури в минулому столітті дав англійський фізик Джеймс Максвелл (1831—1879).

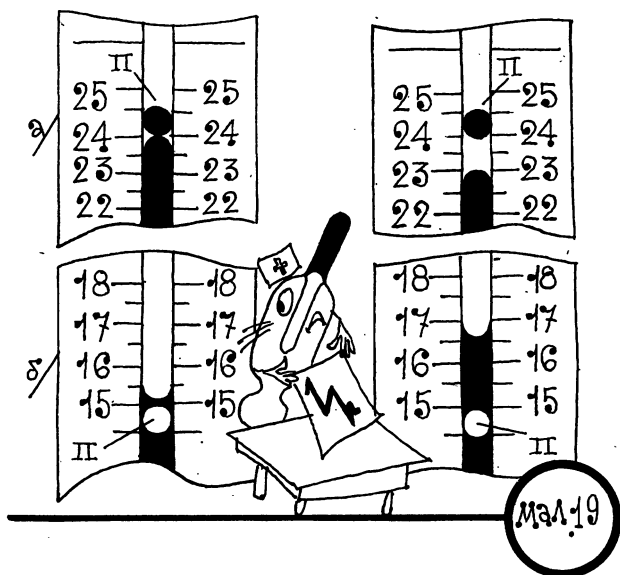
Які бувають термометри?

У більшості побутових термометрів як термометричне тіло використовується ртуть, у деяких — спирт. Технічні рідинні термометри іноді заповнюються також толуолом або технічним пентаном. Зрозуміло, що рідинними термометрами можна вимірювати температури, вищі за температуру замерзання рідини термометра і нижчі за температуру її кипіння. Ртуть замерзає при $-39\text{ }^{\circ}\text{C}$, тому ртутним термометром не можна виміряти температуру повітря взимку на вулиці в тих місцях, де температура опускається нижче від $-39\text{ }^{\circ}\text{C}$. Взимку в Якутії чи десь на Чукотці ртуть в термометрі просто замерзає. Оскільки спирт замерзає при $-112\text{ }^{\circ}\text{C}$ і кипить при $78\text{ }^{\circ}\text{C}$, то спиртовим термометром можна вимірювати температуру повітря влітку і взимку в будь-якому місці земної поверхні.

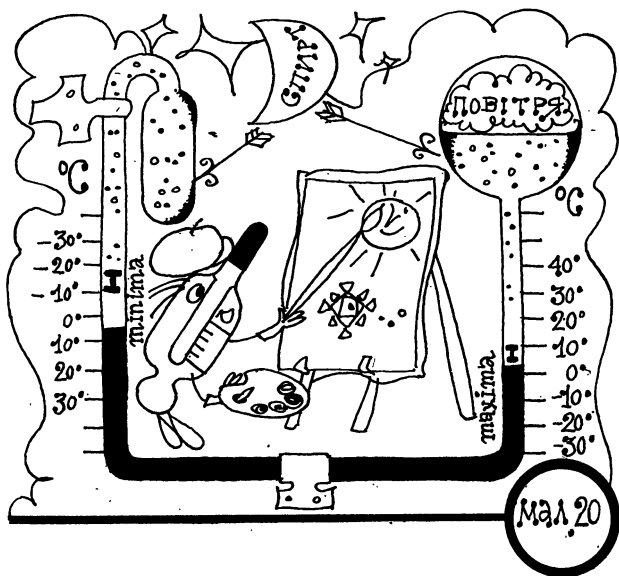
Хімічні й технічні термометри роблять ртутними, якщо ними треба вимірювати порівняно високі температури. Пояснюється це не тільки досить високою температурою кипіння ртуті ($357\text{ }^{\circ}\text{C}$), а й деякими іншими перевагами. Ртуть має малу питому теплоємність, а тому температура термометра швидко зрівнюється з температурою навколишнього середовища. Поверхня скляної трубки ртутного термометра не покривається росою, що дає можливість точно відраховувати його покази. Ртутним термометром можна вимірювати й такі температури, які вищі за температуру кипіння ртуті ($357\text{ }^{\circ}\text{C}$). Для цього трубку над ртуттю заповнюють якимось газом, наприклад азотом, який тисне на ртуть. Із збільшенням тиску на поверхню рідини підвищується її температура кипіння. Це дає можливість вимірювати температури до $500\text{--}600\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Ртутні термометри, як найбільш точні, використовуються в медицині (мал. 18). Ці термометри мають шкалу від 34 до 43 °С, бо саме в цих межах може змінюватись температура людського тіла. Коли термометр вийнято з-під руки, і він охолоджується, стовпчик ртуті не повинен опускатися. Для цього трубочку термометра виготовляють так, щоб канал трубочки безпосередньо над резервуаром для ртуті (кулька термометра) мав звуження. Тоді від нагрівання ртуть розширюється і проштовхується через звуження у трубочку, із зниженням температури ртуть сама не може повернутися через звуження в резервуар. У місці звуження стовпчик ртуті розривається. Щоб ртуть повернулася в резервуар, термометр треба струшувати.



У медицині користуються *максимальним* і *мінімальним* термометрами, які дають можливість встановити, яка найвища чи найнижча температура середовища була протягом певного інтервалу часу, який передував спостереженням. Для цього в капіляр термометра вміщують циліндр-показчик П (мал. 19), який може рухатися по капіляру з певним тертям. Максимальний термометр — ртутний, у ньому циліндрик не змочується. Він міститься на поверхні ртуті, внаслідок піднімання стовпчика ртуті показчик виштовхується вгору, а потім після його опускання залишається на місці максимального підйому (мал. 19, а). У мінімальному термометрі, який роблять звичайно спиртовим або толуоловим,



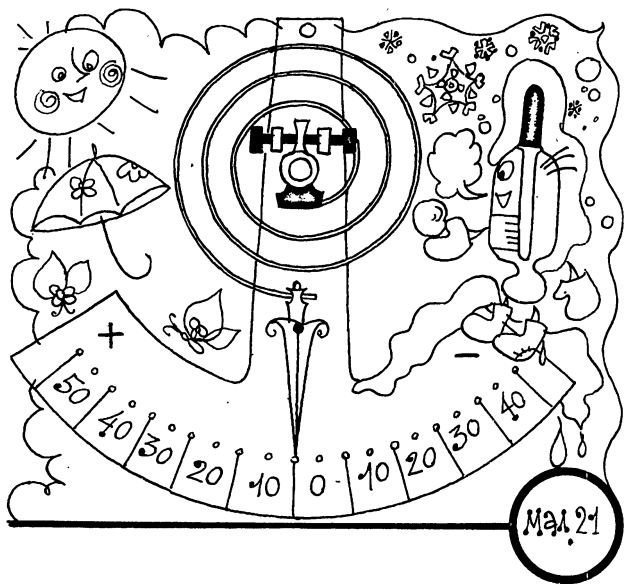
показчик змочується. Він міститься під поверхнею рідини. Під час опускання стовпчика циліндрик захоплюється рідиною, а потім після її підймання залишається на місці (мал. 19, б).

Часто використовують комбінований — максимально-мінімальний термометр (мал. 20), резервуар якого і частина U-подібного капіляра заповнені спиртом, частина капіляра — ртуттю (темна смужка на малюнку). Спирт є робочим тілом термометра, і його стискання й розширення зумовлюють переміщення стовпчика ртуті, а також відповідних показників П. Ліва шкала — мінімальна і читається зверху вниз, права — максимальна, читається знизу вгору. Після спостереження показники суміщаються

із стовпчиками рідини, якщо термометр легенько струснути.

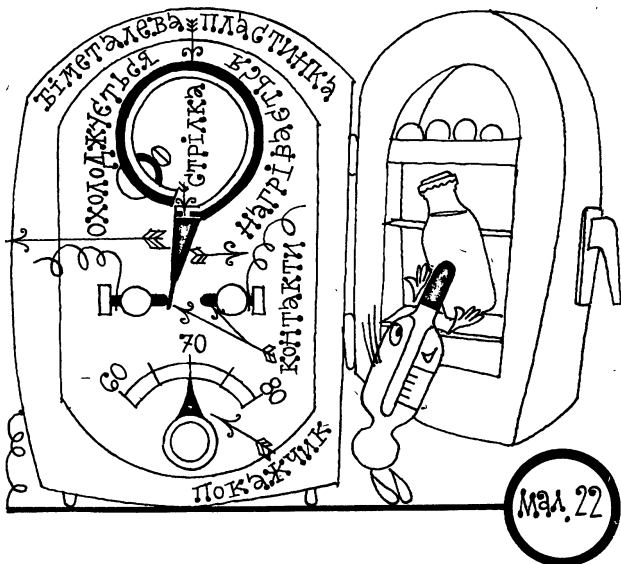
З розвитком науки і техніки, особливо хімічного й металургійного виробництва, в яких речовини нагріваються до сотень і тисяч градусів, виникла потреба в розробці відповідних способів вимірювання температури, оскільки в цих випадках рідинними термометрами не можна користуватись. Ними можна вимірювати температури не вищі за 200—600 °С. Не можна вимірювати й низькі температури, нижчі за точки замерзання рідин в термометрах. До того ж рідинні термометри не дуже точні. Навіть найкращі ртутні термометри дають можливість вимірювати температуру з точністю до 0,05 °С, і то лише в межах від —30 до 200 °С. При вимірюванні вищих температур точність нижча. На точність рідинних термометрів насамперед впливає те, що дуже складно виготовити точно резервуар для рідини термометра, що із зміною температури змінюється і об'єм резервуара. Крім того, рівномірна шкала термометрів побудована з урахуванням того, що зміни об'єму ртуті чи спирту пропорційні змінам температури, а насправді це не так.

Для вимірювання температур у принципі можна скористатися тепловим розширенням і твердих тіл, хоча це розширення дуже мале, значно менше, ніж у рідин і газів, і його важко помітити. У металевих термометрах найчастіше використовують так звану *біметалеву пластинку*. Вона являє собою складені разом і скріплені по краях дві тоненькі металеві смужки з різними коефіцієнтами теплового розширення. Із зміною температури внаслідок неоднакового видовження смужок біметалева пластинка згинається більше чи менше в той чи інший бік і переміщує з'єднану з нею стрілку по шкалі (мал. 21), проградуєваної за допомогою якогось іншого термометра.



Біметалеві термометри не особливо точні, зате прості за будовою. Найчастіше вони використовуються для регулювання температури, наприклад у приміщеннях, холодильниках, сушарнях тощо. Їх виготовляють так, щоб зігнута біметалева пластинка, досягнувши певної температури, замикала або розмикала електричне коло з нагрівником, холодильником, вентилятором тощо (мал. 22).

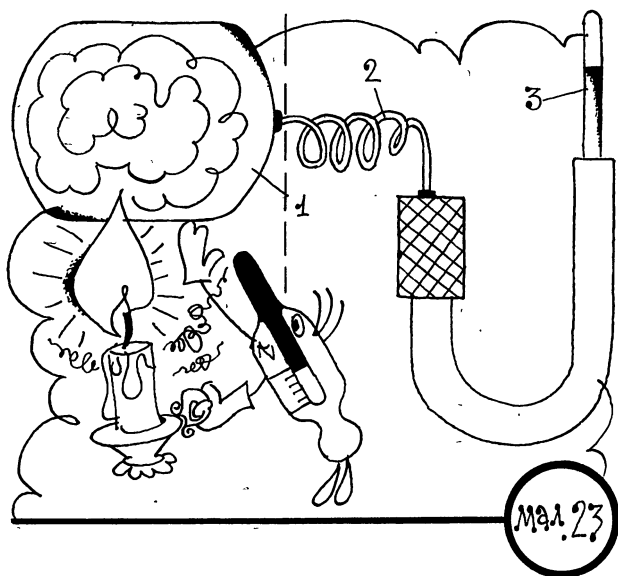
Набагато точніше можна вимірювати температуру газовим термометром. Його дія ґрунтується на вимірюванні зміни тиску газу в закритій посудині, що нагрівається. Принцип будови газового термометра такий. Балон 1 термометра (мал. 23), виго-



товлений з прозорого плавеного кварцу, заповнено воднем (рідше гелієм чи азотом) і за допомогою тонкого капіляра 2 з'єднано з ртутним манометром 3. Балон з воднем приводять у контакт з тілом, температуру якого треба виміряти, а температура манометра підтримується сталю, наприклад, 0 або 20 °С. Із зміною температури водню змінюється його тиск, і ці зміни можна виміряти манометром. Тиск газу при сталому об'ємі пропорційний температурі, а тому шкала манометра проградуєвана в градусах.

Газовим термометром можна вимірювати як дуже низькі температури, близькі до абсолютного нуля, так і високі температури до 1100 °С.

У метеорології широко використовуються термо-



графи — біметалеві термометри із самописцем, який безперервно записує покази на паперовій стрічці, що намотана на циліндр. Цей циліндр за допомогою годинникового механізму рівномірно обертається і самописець креслить на стрічці графік зміни температури з часом.

У науці і техніці особливо широко використовуються зручні електричні термометри, дія яких ґрунтується на зміні електричних властивостей (зокрема, електричного опору) речовини із зміною її температури.

Електричними термометрами можна вимірювати температуру в досить широкому інтервалі: від -200 до 2000 °С. Ці термометри мають багато

позитивних якостей і тому є незамінними в багатьох випадках. Зокрема, великою перевагою електричних термометрів є можливість вимірювати ними температуру на відстані. Так, оператор атомної електростанції з пульта управління може слідкувати за температурою в ядерних реакторах. Боцман гігантського океанського лайнера за допомогою електричних термометрів може слідкувати з каюти за температурою в усіх приміщеннях корабля і в разі потреби вмикати в тому чи іншому приміщенні нагрівник або охолоджувальну установку. Робітник може на відстані контролювати й регулювати температуру в сушильних камерах або в цехах хімічних заводів, де в процесі реакції виділяються отруйні гази, вимірювати температуру розплавленого металу в домні тощо. За допомогою електричних термометрів можна на відстані слідкувати за температурою третьових деталей і своєчасно запобігти їх перегріванню й пошкодженню.

Нещодавно в Інституті напівпровідників Академії наук УРСР створено електричний мікротермометр розміром з макову зернину. Лише за допомогою лупи можна помітити, що це кубик, від якого тягнуться провідники, кожний з яких удвічі тонший за волосину. Цей прилад застосовується в медицині, у різних галузях техніки. Він дає змогу, наприклад, досліджувати коливання температури в циліндрах двигуна внутрішнього згорання під час його роботи.

Важливим досягненням науки і техніки є створення для вимірювання температури електричних приладів малих розмірів, які можуть передавати результати вимірювання за допомогою радіосигналів. Радянський місяцехід за допомогою таких приладів передав по радіо дані про температуру поверхні Місяця. За допомогою таких приладів космічні станції передали на Землю дані про темпе-

ратуру в атмосфері Венери й Марса, температуру поверхні Меркурія і Юпітера тощо.

Є кілька методів оптичного вимірювання температур. Основна перевага їх полягає в тому, що тут не потрібний безпосередній контакт між приладом і тілом, температуру якого вимірюють. Тому оптичні методи дають можливість вимірювати високі температури (що становлять кілька тисяч градусів) у тих випадках, коли інші методи непридатні. Зокрема, всі дані про температуру зірок, у тому числі й Сонця, здобуто саме цими методами.

Розглянемо один з видів оптичних термометрів (його частіше називають *оптичним пірометром*). Дія цього термометра ґрунтується на використанні того факту, що яскравість випромінюваного тілом світла залежить від його температури. При температурі 500—600 °С тіло випромінює темно-червоне світло, яке з підвищенням температури переходить в яскраво-червоне, оранжеве, жовто-біле і, нарешті, при температурі понад 2000 °С у біле. Оптичний термометр складається з лампочки розжарювання (пірометричної лампочки), що з'єднана з приладом для вимірювання температури її нитки розжарювання. Яскравість свічення лампочки (а отже, і температуру нитки) можна змінювати. Яскравість випромінюваного лампочкою світла порівнюється з яскравістю світла, що його випромінює тіло, температура якого вимірюється. У цьому випадку використовується здатність людського ока розрізняти незначні відмінності в кольорі двох тіл, що містяться рядом.

Лампочку розміщують так, щоб зображення її нитки розжарювання падало на світну поверхню тіла, тобто, щоб спостерігалось на фоні розжареного тіла, температуру якого вимірюють. Поки яскравість зображення нитки розжарювання відрізняється від

яскравості випромінюваного тілом світла, нитку видно на фоні тіла.

Процес вимірювання температури об'єкта зводиться до того, що, змінюючи силу струму через нитку розжарювання пірометричної лампочки, добиваються, щоб її яскравість дорівнювала яскравості зображення об'єкта. Тоді спостерігач перестає розрізняти нитку на фоні зображення об'єкта. Знаючи для даного приладу залежність температури від сили струму розжарення і вимірявши силу струму в момент зникнення зображення нитки, визначають температуру об'єкта.

Оптичний пірометр широко використовують у металургії для вимірювання температури розплавленої руди чи металу в доменних та інших печах, оскільки його не треба приводити в контакт з розжареним тілом.

Отже, як бачимо, з розвитком фізики термометри вдосконалюються і дедалі ширше використовуються в науці, техніці й побуті.

Угору і вниз по температурній шкалі

Людство здавна і успішно використовує високі температури. «Подорож» вгору по температурній шкалі почалася відтоді, коли людина вперше добула вогонь. А сталося це дуже давно. Житла первісної людини ще в кам'яному віці обігрівалися багаттям. Навчившись діставати вогонь, людина поставила собі на службу одне з найвеличнійших явищ природи, яке допомагає творити й руйнувати. Адже навіть у полум'ї звичайної свічки температура досягає 1650 °С. Багато це чи мало?

Максимальна температура повітря на Землі буває в Лівії (58 °С). Температура тіла здорової людини

становить 36,6 °С. Теплокровні організми — ссавці й птахи — також мають сталу температуру тіла, яка майже не залежить від зміни температури зовнішнього середовища. Наприклад, собаки мають температуру тіла 40 °С; качки й гуси — 41,5 °С, голуби — 42 °С, а біла куріпка нормальну для неї температуру тіла 45 °С зберігає навіть при сорокаградусному морозі. Деякі ссавці — ховрашки, кажани тощо — впадають у зимову сплячку. При цьому температура їх тіла може знижуватися майже до нуля. Цікаво, що в досить широких межах змінюється температура тіла і короля пустинь — верблюда. Вночі температура його тіла знижується до 34 °С, а вдень, у спеку підвищується до 40—41 °С.

З якими температурами людина має справу в побуті? Ось в каструлі на газовій плиті кипить вода. Ми знаємо, що температура води дорівнює 100 °С. Каструля стоїть на газовому пальнику, температура полум'я якого може досягти 1500—1600 °С. Якщо газ змішується з киснем і згоряє в ньому, то температура полум'я пальників збільшується майже вдвічі. У найпростішій кондитерській печі температура піднімається до 250 °С. Спіраль електроплитки нагрівається до 600—800 °С, а спіраль електричної лампочки розжарення — до 2500 °С. Таку температуру може витримати лише тугоплавкий метал, тому спіраль лампочки роблять з вольфраму, який плавиться при температурі 3300 °С.

Виявляється, що в промисловості використовується ще вища температура — до 3000 °С і навіть вище.

Наведемо кілька прикладів. У металургійних печах температура досягає 800 °С, у ковальських — у 1,5 раза більша, у сталеплавильних — наближається до 2000 °С. У прокатних станах виливки металів прокатують при 1300 °С, а температура

виплавлення чавуну в доменних печах становить 1500—1800 °С.

Досить високі температури мають гази в теплових двигунах. Наприклад, у циліндрі автомобільного двигуна внутрішнього згоряння температура досягає 2000 °С, гази в камері реактивного двигуна нагріваються навіть до 3000 °С.

Дуже високі температури використовуються для різання та зварювання металів. При газовому зварюванні температура досягає 2900 °С, а температура полум'я електричної дуги, в якому плавляться тугоплавкі метали, становить 4000—6000 °С. У створених нещодавно для різання й зварювання металів спеціальних приладах-плазмотронах температура може досягати 50 000 °С, це більше ніж у вісім разів перевищує температуру поверхні Сонця.

У спеціальних лабораторних установках дістають температуру до 2 млн. градусів. Температуру в багато мільйонів градусів створює вибух атомної бомби. А рекордна температура на Землі супроводжує реакцію термоядерного синтезу, яка відбувається при вибуху термоядерної бомби. При цьому за мізерну частину секунди температура піднімається до сотень мільйонів градусів. Зараз в усьому світі вчені наполегливо шукають способів використання в мирних цілях колосальної енергії, яка виділяється в результаті реакції термоядерного синтезу. «Приборкання» цієї реакції, тобто одержання енергії не у вигляді вибуху — одна з найважливіших наукових проблем сьогодні. Для розв'язання цього надзвичайно складного завдання потрібно нагріти *плазму*¹ до температури сотні мільйонів

¹ Плазмою називають стан речовини, при якому атоми частково чи повністю втратили свої електронні оболонки, і електрони вже не зв'язані з ядрами атомів.

градусів. Певні успіхи у підкоренні реакції термо-ядерного синтезу вже є. Нещодавно американські вчені нагріли плазму до 60 млн. градусів, а фізики із Сибірського відділення АН СРСР дістали плазму з температурою 100 млн. градусів.

Всюди, де відбувається сильне нагрівання, газ стає плазмою: в електричній дузі, у газосвітній лампі, у каналі блискавки, тобто у факелі будь-якого полум'я. Як тільки нагрітий газ починає світитися, він тим самим ніби повідомляє: з'явилася плазма. Коли в газі зруйнуються всі атоми, свічення зникає. Це означає, що досягнуто температури, яка становить десятки мільйонів градусів.

Але з якого матеріалу можна виготовити посуд для плазми? Який матеріал може витримати температуру, що дорівнює десяткам і сотням мільйонів градусів? Таких матеріалів у природі не існує. Плазму дістають у газорозрядних трубках і ізолюють від стінок сильними магнітними полями.

Кілька слів про високі температури у Всесвіті. Температура поверхні Сонця становить 6000 °С, правда, температура сонячних плям дещо нижча і становить 4500 °С. У надрах Сонця температура досягає 25 млн. градусів. Особливо високу температуру мають зорі, які називаються *білими карликами*. Їх температура може досягати 10 млрд. градусів.

У створенні дедалі вищих температур людина виграє в змаганні з природою. Хоч на короткий час, але в лабораторіях дістають температури, які в кілька разів перевищують температуру надр Сонця.

Може виникнути запитання: яка найвища температура може існувати в природі? Чи можуть існувати як завгодно високі температури? Пригадаємо, що температура є мірою кінетичної енергії, а отже, і

швидкості руху матеріальних частинок. Оскільки для швидкості матеріальних частинок існує верхня межа, то існує вона й для температур, які зустрічаються в природі. Справді, сучасна фізика стверджує, що матеріальні частинки не можуть рухатися з швидкістю, більшою за швидкість світла у вакуумі. Враховуючи це, можна підрахувати максимально можливу температуру, тобто температуру, при якій швидкість руху частинок наближається до швидкості світла. Розрахунки показують, що верхня межа можливих температур у природі становить близько 10^{12} (або мільйона мільйонів) градусів.

А яких успіхів досягло людство в одержанні низьких температур? Найнижча температура повітря на Землі — $89,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ спостерігалась в Антарктиді. Здавна люди застосовували різні охолоджуючі суміші для зниження температури. Найбільш відомою є суміш снігу й кухонної солі, яка дає можливість знизити температуру до $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Особливо широко почали застосовувати охолодження після того, як винайшли нові способи охолодження. Зокрема, було помічено, що стиснутий газ охолоджується внаслідок розширення. Використавши це, видатний англійський фізик М. Фарадей на початку минулого століття перетворив у рідину хлор, вуглекислий газ та інші гази. Рідка вуглекислота відразу почала широко застосовуватись у наукових дослідженнях і в техніці. Зберігається вона в спеціальних балонах, які витримують великий тиск. Якщо відкрити вентиль такого балона, то рідка вуглекислота, вириваючись струминою, відразу ж перетворюється в «сніг». Пояснюється це швидким випаровуванням рідкої вуглекислоти, внаслідок чого її температура знижується до $-79\text{ }^{\circ}\text{C}$, тобто до температури тверднення. Мабуть, найбільш відомим застосуванням твердої вуглекислоти є охолодження нею морозива.

Згодом учені розробили способи одержання таких низьких температур, що вдалося дістати в рідкому і навіть твердому стані всі газы. Так, наприклад, дістали рідкий кисень (при нормальному тиску він кипить при температурі -183°C), рідкий водень (кипить при -253°C); рідкий гелій (кипить при -269°C) тощо.

Проникнення вчених в область дуже низьких температур (їх називають кріогенними), наближення до абсолютного нуля температур ($-273,16^{\circ}\text{C}$) — насущна потреба науки й техніки. Низькі й наднизькі температури дедалі ширше застосовуються. У металообробній промисловості «холод» застосовують для загартування сталевих деталей. Ще в минулому столітті російські селяни виносили на мороз коси й серпи, щоб зробити їх твердішими. Справді, завдяки охолодженню металів підвищується стійкість проти спрацювання ріжучого інструменту, твердість штампів і пресформ, поліпшуються якості поверхні сталевих деталей тощо. При цьому метал охолоджують до температур порядку -100°C . Дуже низькі температури застосовуються в машинобудуванні.

Низькі температури потрібні для одержання рідкого повітря і виділення з нього газів, що входять до його складу, насамперед кисню, водню, азоту тощо. Кисень стає рідиною при -183°C . Спочатку він використовувався для газового зварювання й різання металів. Сьогодні його споживають у великих кількостях чорна й кольорова металургія, хімічна промисловість. Ним замінюють повітря в багатьох технологічних процесах і тим самим прискорюють їх. Наприклад, вдувають у мартенівські печі, використовують для газифікації твердого палива, створення синтетичного палива. В СРСР працюють установки, які за годину переробляють 170 тис. куб. метрів

повітря, вилучаючи з нього 35 тис. куб. метрів кисню.

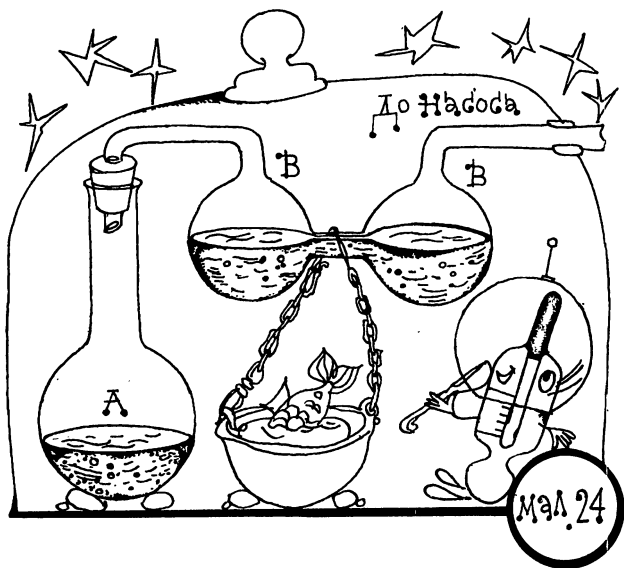
Потреба в чистому кисні зросла у зв'язку з розвитком ракетної техніки, де він використовується як окислювач палива.

Другий основний компонент повітря — азот — також широко використовується в техніці. Азот стає рідиною при -196°C . У хімічній промисловості він застосовується для вироблення аміаку, добрив, гуми тощо. Останнім часом посудини з рідким азотом з'явилися на багатьох харчових підприємствах. За допомогою рідкого азоту тут дуже швидко заморожують продукти, і тому вони не втрачають смакових якостей. При температурі рідкого азоту продукти зберігаються дуже довго.

Низькі температури вже давно стали надійними помічниками у медицині. У середині минулого століття з'явилися перші кріогенні апарати для видалення пухлин. Десять років тому дуже низькі температури стали застосовувати в нейрохірургії. Зробивши «льодовий» укол в мозок людини, лікар позбавляє її від тяжкого захворювання центральної нервової системи. У медичній промисловості низькі температури застосовуються для виготовлення і збереження багатьох ліків.

Неможливо навіть перелічити усі галузі застосування низьких і наднизьких температур. Тим більше, що з кожним роком кількість таких галузей збільшується.

Нещодавно дістали температуру, яка всього на $0,000001^{\circ}\text{K}$ вища від абсолютного нуля температур. Нагадаємо, що досягти абсолютного нуля температур не можна ніякими способами.



Як зварити кашу на Марсі?

З шкільного курсу фізики ви знаєте, що температура кипіння води залежить від тиску, під яким перебуває ця вода. З підвищенням тиску на воду зростає й температура її кипіння, а внаслідок зниження — зменшується. Дуже повчальним є такий дослід. У колбу *A* (мал. 24) наливають води з водопроводу і насосом відкачують з неї повітря. Щоб полегшити роботу насоса, у посудину *BB* наливають міцної сірчаної кислоти, яка вбирає водяну пару. У результаті спільної дії насоса й сірчаної кислоти тиск у колбі зменшується дуже швидко. При певному тиску вода закипає в колбі при кімнатній температурі.

Випаровування в даному випадку відбувається за рахунок внутрішньої енергії самої рідини, яка сильно охолоджується. Незважаючи на це, кипіння триває, тому що тиск продовжує зменшуватись внаслідок спільної дії насоса й сірчаної кислоти. Дуже швидко температура води знижується до нуля, причому вона продовжує кипіти. Далі зниження температури стає неможливим, кипіння продовжується за рахунок теплоти тверднення, яка виділяється під час замерзання води. Так кип'ятінням вдається заморозити воду під зниженим тиском.

Кипіння води при зниженому тиску застосовується в техніці, наприклад у цукровій промисловості. Кристалізують цукор у котлах при зниженому тиску, чим досягають бурхливого кипіння цукрового сиропу при низькій температурі, всього кілька десятків градусів. При цьому цукор не пригорає і швидко відокремлюється надлишок води.

Чому температура кипіння рідини при підвищенні тиску зростає, а при зниженні зменшується? Коли рідина кипить, на стінках посудини з'являється велика кількість дрібних бульбашок, об'єм яких внаслідок нагрівання рідини збільшується, а отже, збільшується й виштовхувальна сила рідини на ці бульбашки. Вони спливають на поверхню рідини й лопаються. Саме спливанням на поверхню рідини й руйнуванням бульбашок, що заповнені повітрям і паром, характеризується процес кипіння. Зрозуміло, що зовнішній тиск на рідину заважає збільшенню бульбашок пари всередині рідини, а тому з підвищенням тиску зростає температура кипіння рідини.

На поверхні Землі, тобто при нормальному атмосферному тиску порядку 10^5 Па чиста вода кипить при температурі 100°C . При цій температурі звичайно й варять борщ або кашу. Але наскільки економічним є таке приготування їжі? Чи не існує

економічно вигіднішого з погляду теплотехніки способу приготування каші? Що для цього потрібно: кипляча вода чи висока температура?

Виявляється, вся справа в температурі. Якщо альпіністи піднімуться на гору заввишки 2000 м, то їм нізащо не вдасться зварити ні гречаної, ні рисової, ні пшоняної каші. Вони можуть розраховувати тільки на манну або вівсяну, і то на приготування її піде дуже багато часу. А все через те, що вода на такій висоті кипить при 90 °С. Звичайно, при цій температурі все вариться дуже повільно, ні про яку економію енергії тут не може бути й мови. А якщо альпіністи заберуться ще вище, наприклад на вершину Ельбруса (висота 5630 м), де тиск повітря ще нижчий і де вода кипить вже при температурі 81 °С, то вони, напевно, не зможуть зварити й манної каші.

Цікаво, а на якій з планет можна приготувати кашу в звичайній каструлі? За даними, що їх дістали радянські та американські космічні автоматичні станції «Марс» і «Вікінг», атмосферний тиск на поверхні Марса становить всього 800—1000 Па, тобто разів у сто менший, ніж на поверхні Землі. Тому на Марсі не можна навіть суп зварити в звичайній каструлі. А на Місяці чи Меркурії і води не знайдеш, при існуючому вакуумі лід там відразу ж перетворюється в пару. Найбільш сприятливі умови для варіння їжі на Венері (кольорова вклейка VIII). У нижніх шарах атмосфери тиск становить $3 \cdot 10^6$ Па, тут температура кипіння води 233 °С, тому на приготування будь-якої страви потрібно всього лише кілька хвилин.

Проте повернемося на Землю. Як тут зварити обід, затративши найменшу кількість теплоти й часу? Ви знаєте, що на нагрівання одного кілограма води від нуля до 100 °С потрібно витратити 420 кіло-

джоулів енергії, тобто для нагрівання на один градус витрачається 4,2 кілоджоулів енергії. Вода, що досягла температури 100 °С, починає перетворюватись у пару стоградусної температури. Ця температура тримається сталою, поки не википить уся вода. Для перетворення 1 кг води у пару потрібно $2,26 \cdot 10^6$ Дж енергії, це у п'ять з лишком разів більше, ніж для нагрівання до 100 °С.

Аж ось вода в каструлі закипіла, і молода недосвідчена господарка, бажаючи швидше зварити якусь страву, додає вогню під каструлю. Каша починає кипіти бурхливіше. Постає запитання: чи справді посилення вогню прискорює варіння їжі? Виявляється, що ні. Бурхливе кипіння на жодну хвилину не скорочує часу варіння їжі, навпаки, сповільнює. Крім того, на кожний кілограм води, що випарувалась, даремно витрачається 4200 Дж енергії, зростає небезпека пригорання їжі, а в кухні збільшується вологість повітря. Щоб прискорити процес варіння їжі, великий вогонь потрібний тільки для нагрівання води від кімнатної температури до кипіння.

Нагрівання забирає багато часу, оскільки циркуляція води в каструлі невелика. Нагріта на дні вода повільно піднімається вгору, звільняючи місце для холодної води. Як тільки на дні з'являються бульбашки пари, починається інтенсивне переміщення води, і вона швидко закипає. Внаслідок сильного кипіння на дні посудини може утворитися подушка з пари, від чого теплопередача істотно зменшиться, і дно каструлі може підгоріти, не говорячи вже про кашу.

Отже, природні умови на нашій планеті не такі вже й зручні для приготування їжі. Але чи не можна їх поліпшити? Виявляється, що можна. Треба варити їжу в закритому котлі під тиском. Саме в котлах

під тиском варять їжу на фабриках-кухнях, у ресторанах, їдальнях та інших підприємствах громадського харчування.

А як бути в домашніх умовах? Останнім часом промисловість почала випускати спеціальні каstrулі-скороварки. Вони являють собою товстостінні каstrулі, кришка яких забезпечена запобіжним клапаном. У цих каstrулях їжу варять при тискові, який на 10^5 Па вищий за атмосферний, тобто при температурі 120°C . Перевага каstrулі-скороварки полягає не тільки в швидкому приготуванні їжі, а й в економії палива. Справді, вогонь під каstrулею потрібен лише для того, щоб нагріти воду до кипіння і підвищити тиск у каstrулі. Після цього газ можна вимкнути, а процес варіння продовжуватиметься доти, поки не сконденсується пара в каstrулі.

Експлуатація скороварки потребує дещо більшої уваги, ніж звичайної каstrулі. Справа в тому, що кожному тиску відповідає цілком певна температура кипіння води. Якщо тиск різко зменшити, наприклад, відкрити кришку, то 120 -градусна вода негайно закипить, перетворюючись у пару. Кришку скороварки можна безпечно відкривати тоді, коли в каstrулі тиск дорівнює атмосферному.

Підвищення температури кипіння внаслідок збільшення тиску на рідину використовується не тільки для прискорення приготування їжі. На цій властивості рідини ґрунтується застосування потужних парових двигунів високого тиску. Потужні парові турбіни потужністю $200\,000$ кВт працюють при тиску близько $2 \cdot 10^7$ Па і температурі до 600°C . Завдяки такому високому тиску і температурі пари значно економиться паливо і установка має високий ККД.

Котли з підвищеним тиском дають пару високої температури, яка використовується в багатьох галузях техніки. У великих міцних котлах — автокла-

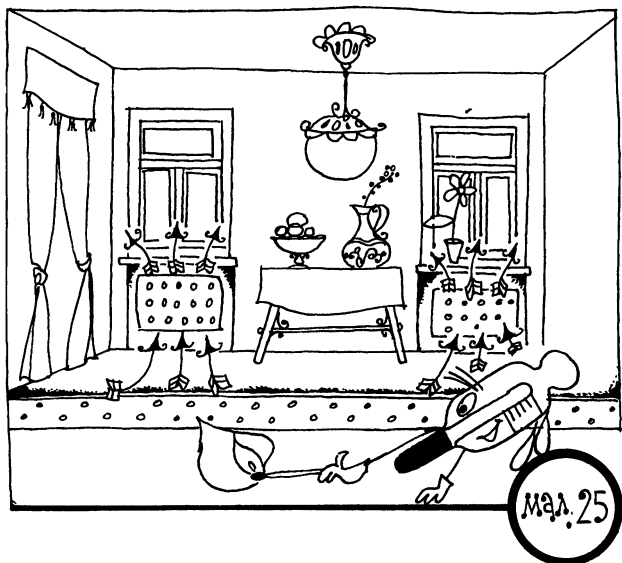
вах — стерилізують консерви, хірургічні інструменти, матеріал для перев'язування ран, витягують клей з кісток, обробляють деревину для паперових фабрик; під високим тиском добувають стеаринову кислоту, синтетичну нафту, гліцерин, жирні кислоти тощо.

Система опалення на ... стелі

Крім печей, які дедалі рідше використовуються для обігрівання будинків (у сучасному будівництві їх уже взагалі не зустрінеш), і центрального опалення, яке прийшло на зміну печам, зараз застосовуються й інші способи опалення. Батареї центрального опалення гріють не гірше, ніж старі кахельні печі. Виготовляють радіатори, як правило, з чавуну, проте, можна й з кераміки.

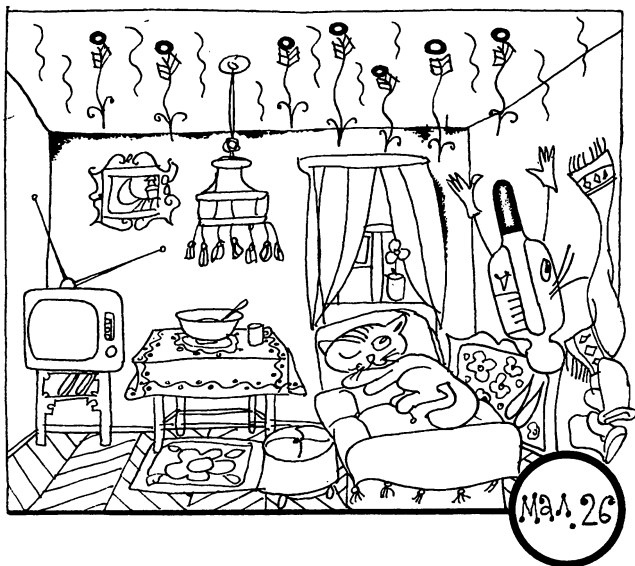
У великих містах є котельні, які обігрівують багато будинків, іноді цілі мікрорайони і райони міста. Бувають і котельні-гіганти, які опалюють кілька районів великого міста, а іноді й усе місто. Таку котельню називають центральною, або теплоцентраллю. З'єднана з електростанцією, теплоцентральною називається теплоелектроцентраллю, або скорочено — ТЕЦ. Гаряча вода або гаряча пара подається від теплоцентралі або ТЕЦ по мережі підземних трубопроводів в усі будинки мікрорайону, району чи міста, а в будинках — в усі радіатори квартир.

Сучасна опалювальна техніка не стоїть на місці. Можливо, на зміну радіаторам центрального опалення придуть конвектори. Конвектор — це новий, удосконалений вид радіатора центрального опалення. Складається він з металевої коробки (кожуха) і нагрівного елемента (мал. 25). Повітря заходить через отвір у нижній частині кожуха, нагрівається



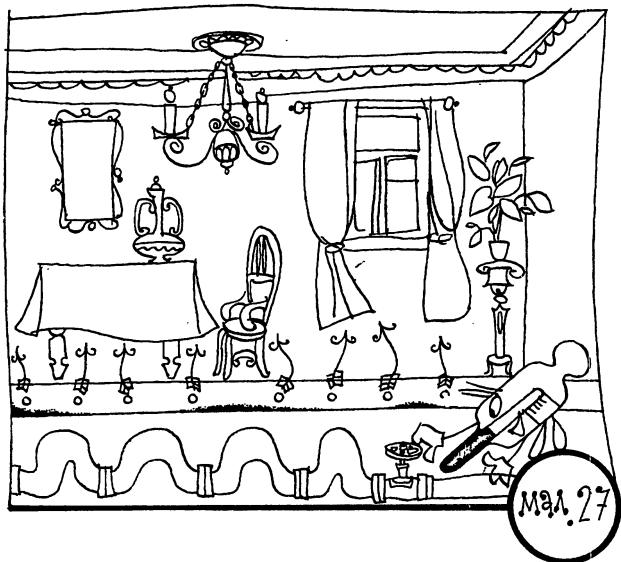
нагрівним елементом і виходить через верхній отвір кожуха в приміщення. По нагрівному елементу циркулює гаряча вода, яка надходить від місцевої котельні, теплоцентралі чи ТЕЦ.

У конвекторі створюється тяга, мов у трубі, а тому повітря швидко проходить через кожух і ефективно «відбирає» енергію від гарячої труби. У цьому приладі теплопередача відбувається за рахунок конвекції, а тому він і називається конвектором. Проте конвектор — далеко не останнє слово опалювальної техніки. Є й інші сучасні опалювальні прилади системи центрального опалення. Уявіть собі, що ви зайшли в якусь квартиру у Москві чи Ленінграді. У кімнаті немає радіаторів централь-



ного опалення, проте, т́пло, незважаючи на холодну погоду. Як же обігривається кімната? Звідки надходить енергія? Можливо, від стін чи стелі? А може, від підлоги? І хоч на перший погляд це здається неймовірним, проте саме так.

У бетонний шар перекриття між поверхами, тобто в стелю, закладають металеву трубу — змійовик, по якій циркулює гаряча вода чи пара, яка надходить від котельні чи теплоелектроцентралі (мал. 26). Труба-змійовик може бути не тільки металевою. У сучасному будівництві використовують також труби зі скла (звичайно, дуже міцного) і пластмаси. А якщо теплоносієм є гаряче повітря,



то його пропускають через порожнини, спеціально залишені в бетоні для цієї мети.

Труби-змійовики можна закладати у бетонний шар не тільки стелі, а й підлоги (мал. 27) або однієї із стін. Таке опалення називають променевим або панельно-променевим.

Якщо нагрівні труби розміщені в стелі, то близько 75 % енергії передається в приміщення випромінюванням. А коли обігріваються стіни, випромінюванням передається до 60 % енергії. При цьому температура стелі не повинна перевищувати 32—33 °С. Це обмеження зумовлене несприятливим впливом випромінювання на головний мозок людини.

Якщо приміщення опалюється через стіни, то вони можуть мати температуру 55—60 °С, а підлога 28—29 °С.

При променевому опаленні більша частина енергії збирається стінами і предметами, які містяться в приміщенні, тому їх температура буде вищою, ніж при конвекторному опаленні. Променеве опалення дає можливість знижувати температуру кімнатного повітря до 15—16 °С.

У жаркий період систему променевого опалення зручно використовувати для охолодження приміщень. Для цього достатньо по трубах, які закладені в стінах, підлозі чи стелі приміщення, пропустити холодну воду.

Є багато різних видів променевого опалення. Можна, наприклад, не бетонувати труби — змійовики у перекриттях між поверхами, тобто не заливати їх під час спорудження мокрим бетоном, а класти перекриття з готових, виготовлених на домобудівельному заводі панелей з обігрівними елементами. Такі панелі можуть виготовлятися для спорудження стін чи підлоги.

Променеве опалення — один із сучасних способів обігрівання приміщень. У Москві й Ленінграді вже побудовано й успішно експлуатуються будинки з таким опаленням. Передбачається променеве опалення також при проектуванні значної кількості нових приміщень.

Якщо опалення приміщень електричне, то стіни також можуть бути джерелом випромінювання. Для цього їх облицьовують гумово-пластмасовими пластинками, в які вставлена сітка з тонкої мідної дротини. Розжарюючись в результаті проходження електричного струму, сітка нагріває повітря в приміщенні. Електричне стінне опалення можна вмикати й вимикати, як вмикають й вимикають електричну

лампочку. Таку дротяну сітку можна поміщати і в стелі.

Цікаво, а чи не можна обігрівати приміщення за допомогою електрики через підлогу? Виявляється, що можна. Перед настиланням підлоги на перекриття кладуть довгі азбестові листи з прикріпленими до них електричними проводами. Коли по них пропускають електричний струм, вони нагріваються і обігрівають підлогу. Ви, напевне, знаєте, що азбест — це волокнистий мінеральний матеріал, який є вогнетривким ізолятором.

Приміщення можна обігрівати також лампами. Але не звичайними лампами розжарювання, які увечері загоряються в наших будинках, а лампами, які випускають невидимі інфрачервоні промені. Такі лампи швидко нагрівають повітря в приміщеннях. Їх розміщують на стелі, у стінах, навіть на підлозі.

Інженери шведської фірми «Такверме» створили спеціальні опалювальні касети для підвішування до стелі приміщення. Вони забезпечують більш стабільну температуру в приміщенні, ніж звичайні радіатори. Експерименти показали, що коли приміщення обігрівають за допомогою касет, електричної енергії споживається процентів на 15 менше, ніж тоді, коли використовуються звичайні електричні нагрівники.

Великий інтерес становлять електричні апарати для кондиціонування повітря — кондиціонери. Вони не тільки нагрівають повітря в холодну пору року, а й охолоджують його в спеку, очищають від пилу, підсушують занадто вологе повітря й зволожують дуже сухе. Коротше кажучи, ці апарати підтримують постійні, найбільш сприятливі для людини (чи технологічного обладнання і технологічних процесів на підприємствах, експонатів — у музеях) параметри повітря. У квартирах, де є кондиціонери,

немає потреби відкривати вікна для провітрювання приміщень. Натискаючи на відповідні кнопки, можна регулювати температуру й вологість повітря.

Використовується й така система центрального опалення, в якій котельня розміщена на... даху будинку, а джерелом енергії в ній є сонце. Похила частина даху, звернена на південь, вбирає сонячні промені, які потрапляють на неї. Цю частину даху виготовляють з великої кількості прямокутних ящиків, закритих подвійним склом. Дно ящиків зроблено з алюмінієвого листа, забарвленого в чорний колір (кольорова вклейка IX).

Сонячні промені проникають через скло і сильно нагрівають чорне металеве дно ящика, яке в свою чергу нагріває мідні трубки з водою. Нагріта в трубках вода надходить у великий резервуар, встановлений у підвалі будинку. Звідси гарячу воду перекачують не в радіатори, а в спеціальні пристрої, де вона нагріває повітря. А вже тепле повітря по трубах надходить у всі приміщення.

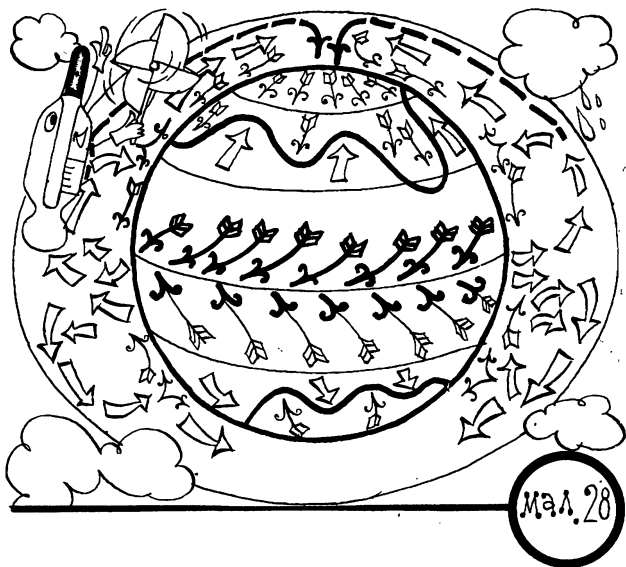
А як же обігривається приміщення в холодні пасмурні дні? Чи працює сонячне опалення в погану погоду? Виявляється, що працює. Великий запас гарячої води в резервуарі — термосі — є достатнім для того, щоб обігрівати приміщення навіть тоді, коли сонце сховалося за хмари. Отже, крім центрального водяного чи парового опалення з місцевими або центральними котельнями, дедалі частіше застосовується променеве опалення через стелю, підлогу чи стіни. Мабуть, у недалекому майбутньому в будівельній техніці застосовуватимуться й інші цікаві способи опалення приміщень.

Чому буває вітер?

Кому з вас не доводилося бачити, як дим із заводських труб то піднімається прямовисно, то стелеться по землі? Хто не милувався гарними купчастими хмарами, білі велетенські шапки яких піднімаються в блакитну вись неба, а іноді випадають на землю zalивним дощем? Усі ці явища пов'язані з конвекційними рухами повітря, що зумовлюються нерівномірним його нагріванням. Коли якась частина повітря нагрівається сильніше, ніж маси, що її оточують, то вона розширюється, і стає менш густою; холодніше й густіше повітря підпливає під нагріте і змушує його підніматися вгору під дією архімедової сили.

Конвекція значною мірою визначає всі рухи в нашій атмосфері. Атмосферне повітря майже вільно пропускає сонячне проміння і дуже слабо ним нагрівається. Нагрівається повітря в основному від земної поверхні. Земна поверхня нагрівається Сонцем дуже нерівномірно. В екваторіальній зоні сонячні промені падають на землю майже прямовисно і дуже сильно її нагрівають. У міру наближення до полюсів кут нахилу сонячних променів до земної поверхні зменшується, а водночас зменшується й нагрівання земної поверхні. Різниця середніх річних температур між полюсом і екватором становить близько 50 °С.

Нерівномірність нагрівання земної поверхні Сонцем зумовлює так звану загальну циркуляцію атмосфери — сукупність усіх видів повітряних течій, які спостерігаються в атмосфері. Сильно нагрітий приземний шар повітря в екваторіальній смузі піднімається вгору. На його місце з півночі й півдня надходять нові, холодніші маси повітря. Внаслідок обертання Землі вони в північній півкулі відхиляють-



ся вправо, у південній — вліво. Тому в північній півкулі утворюються вітри північно-східного напрямку, а в південній — вітри південно-східного напрямку. Називаються ці вітри *пасатами* (мал. 28).

Тепле вологе повітря, піднімаючись вгору над екваторіальною зоною, охолоджується, що зумовлює конденсацію водяної пари, в результаті якої випадають тропічні зливи.

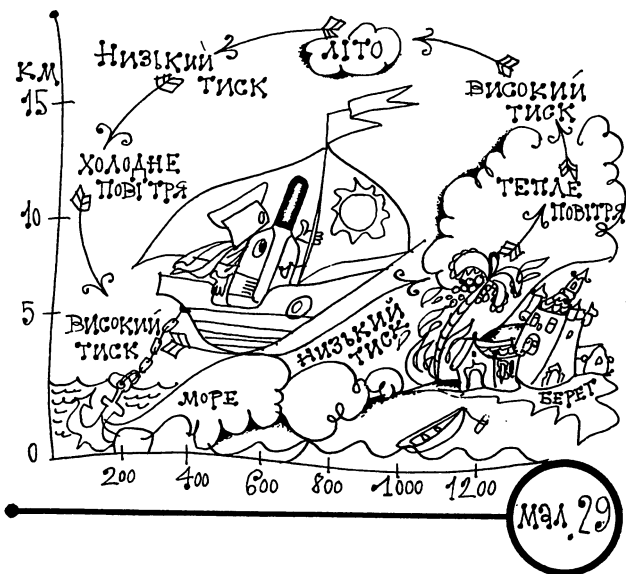
На висоті приблизно 4 км і вище повітря, що піднялося, розпливається на північ і південь. Внаслідок обертання Землі ці потоки відхиляються і утворюють антипасати: південно-західний у північній півкулі і північно-західний — у південній.

Між 30 і 35° північної і південної широти анти-

пасати набувають західного напрямку, заважаючи повітряним масам просуватися далі до полюсів, що зумовлює їх нагромадження. Цьому сприяють також зустрічні антипасати з потоком повітря з вищих широт. Нагромаджуючись, повітря опускається до поверхні землі. Повітря, яке опускається, є досить сухим. Саме тому в зоні цих широт розташовані пустині. Поблизу поверхні землі це повітря розтікається до екватора (пасат) і до полюса у вигляді теплої південно-західної течії.

Ми розглянули досить ідеалізовану картину загальної циркуляції повітря в атмосфері, зумовлену значною мірою різним нагріванням поверхні земної кулі. Насправді механізм загальної циркуляції повітря значно складніший, проте ми не вдаватимось у деталі. Розглянемо краще, як виникають деякі постійні вітри, що дмуть у певних напрямках, зокрема механізм виникнення *морського й берегового бризів*.

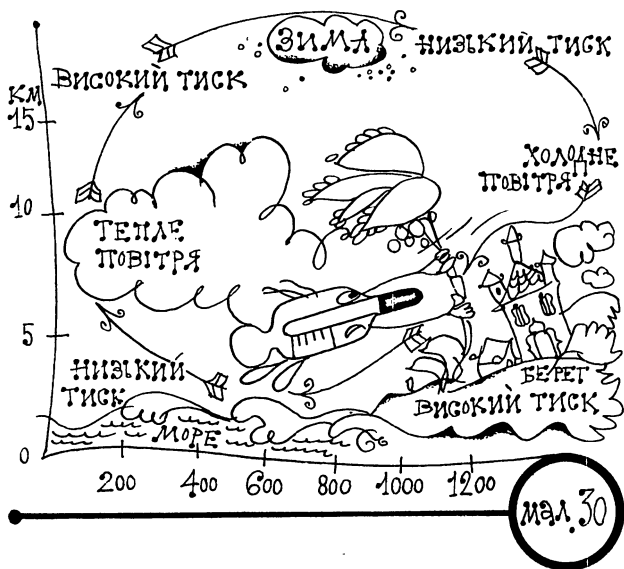
Повітря над сушею й морем нагрівається неоднаково. У міру піднімання сонця над горизонтом температура повітря над сушею підвищується швидше, ніж над морем. Нагріте над сушею повітря розширюється й піднімається вгору. Внаслідок цього атмосферний тиск біля поверхні землі зменшується. Над морем повітря нагрівається менше і тому залишається густішим, а отже, і атмосферний тиск його вищий. Повітря починає рухатися в тому напрямі, де менший тиск. З моря, де високий тиск повітря, дує на берег легенький вітерець. Внаслідок надходження повітря на сушу та її нагрівання підвищується тиск повітря у верхніх шарах атмосфери над сушею. Це зумовлює вгорі зворотний потік повітря до моря. Відбувається постійний кругообіг повітря, що підтримується нерівномірним нагріванням суші й моря. Так у літній сонячний день



з моря на берег дме прохолодний вітер — морський бриз (мал. 29).

Вночі спостерігається зворотний процес. Суша охолоджується швидше і повітря над нею стає гущим. А над морем повітря залишається теплішим і рідшим. Знову виникає різниця в атмосферних тисках. Тепер уже вгорі повітря рухається від моря, а біля земної поверхні виникає вітер, який дме із суші на море — береговий бриз (мал. 30).

У міру віддалення від берега в глиб суші чи моря денний і нічний бризи поступово стихають. Простір, який охоплюється бризом, досить великий у тропіках і зменшується в помірних широтах, де різниця в нагріванні суші й моря не дуже значна. На узбережжі Чорного моря денний бриз проникає



в глиб суші на 20—30 км, а нічний поширюється на море до 10—15 км.

Бризи спостерігаються також на берегах великих озер і дуже широких річок. На околицях лісних масивів, розташованих поряд з відкритим ґрунтом, який добре прогривається сонцем, чи поблизу великих боліт у безхмарну тиху погоду можуть виникати явища, подібні до бризу. Особливо це помітно в смузї лісостепу, коли з лісу спочатку легкими хвилями, а потім постійним потоком надходить прохолодне повітря.

У гірських долинах також спостерігається періодична зміна напрямку вітрів, подібно до бризів. Повітря в долині нагрівається вдень як від дна долини, так і від її схилів. Внаслідок цього нагріте повітря

починає підніматися з долини по схилах. Такий вітер виникає в ранкові години й дме вдень з долини вгору по схилу. Називають його долинним вітром. У центрі долини спостерігається зворотний потік повітря зверху вниз. Таким чином, тут також створюється замкнута циркуляція повітря.

У нічні години по гірських схилах у долину стікає холодний потік повітря, який називають гірським вітром. Вгорі над цим потоком виникає протитечія — з долини до вершини гір.

Різниця в нагріванні суші й моря влітку і взимку також зумовлює періодичну зміну вітрів. Влітку, коли дужче нагріта суша, з моря дме вологий вітер, який приносить щедрі опади — літній мусон. Взимку, навпаки, з холодної суші на тепліше море дме сухий і холодний зимовий мусон. Внаслідок тривалого збереження великої різниці температур між сушею й морем протягом року створюється значна різниця атмосферних тисків на величезних просторах. Тому мусони характеризуються великою швидкістю вітру, що поширюється далеко в глиб материка і на море.

Конвекція відіграє також важливу роль у кругообігу води в атмосфері. Повітря нижніх шарів атмосфери нагрівається від теплого ґрунту або теплої води. З поверхонь океанів, морів, річок, озер, льодовиків, засніженого ґрунту, рослинності в атмосферу випаровується вода. За рік в атмосферу надходить близько 520 000 м³ водяної пари, яка поширюється в результаті дифузії, а також переноситься вертикальними течіями теплого повітря (конвекцією). Піднімаючись внаслідок конвекції, вологе повітря охолоджується, водяна пара починає конденсуватися в дрібні краплі води, утворюючи так звані конвективні хмари або туман. Залежно від характеру земної поверхні повітря нагрівається неоднаково і піднімається не відразу на великий

території. Тому й хмари утворюються не у вигляді суцільної ковдри, а окремими білими скупченнями, що схожі на великі купи вати.

Що впливає на погоду?

На перший погляд важко відповісти на запитання, який існує зв'язок між утворенням вітру, туману, хмар, рухом велетенських мас льоду по поверхні океанів і землі, виникненням тайфунів та антициклонів і тепловими явищами. Проте такий зв'язок існує. Виникнення вітрів, випадання опадів, хороша чи погана погода та інші метеорологічні явища безпосередньо пов'язані з тепловим випромінюванням Сонця, яке досягає атмосфери і поверхні Землі.

Одним з найважливіших факторів, які впливають на клімат нашої планети, є енергія Сонця. Кожні три доби ця найближча до нас зірка посилає на Землю стільки енергії, скільки її можна було б дістати в результаті спалення всіх запасів вугілля, нафти і всіх лісів нашої планети. На кожний квадратний сантиметр зовнішньої поверхні атмосфери, перпендикулярної до сонячних променів, за рік надходить приблизно 4200 кДж сонячної енергії. І це, незважаючи на те, що Сонце знаходиться від нас, якщо судити за земними масштабами, десь близько 150 млн. кілометрів. Проте лише невеликі ділянки земної поверхні перпендикулярні до сонячних променів. Оскільки Земля має форму кулі, то на більшу частину її поверхні промені падають під кутом, меншим ніж 90° . Тому одна й та сама кількість сонячних променів розподіляється на більшу площу, у середньому на зовнішню поверхню атмосфери падає лише четверта частина потоку променів, їх енергія становить 1050 кілоджоулів на квадратний сантиметр за рік. Не вся ця енергія

досягає земної поверхні. Повітряна оболонка Землі розсіює частину енергії випромінювання Сонця і частину її вбирає.

Внаслідок сонячного нагрівання відбувається випаровування води, а отже, утворюються хмари, випадають опади. Усі ці явища супроводжуються величезними затратами енергії. Наприклад, потужність процесів, що підтримують звичайну купчасту хмару, становить кілька мільйонів кіловат.

Сонячна енергія значно впливає і на циркуляцію повітряних мас в атмосфері. Циркуляція тісно пов'язана з нагріванням поверхні Землі і переміщенням повітряних мас з області високого тиску в область низького. Отже, і звичайний вітер, і ураганний — це результат нагрівання земної поверхні в одному районі планети і охолодження — у другому.

Енергія випромінювання Сонця, що досягає поверхні Землі, нерівномірно розподіляється по її поверхні, змінюється залежно від пори року і часу доби. Поблизу екватора сонячні промені падають на земну поверхню майже прямовисно, тоді як у полярних районах вони утворюють з поверхнею Землі невеликий кут, ніби ковзаючи по земній поверхні. Тому полярні райони дістають значно менше сонячної енергії, ніж екваторіальні.

Нерівномірний розподіл сонячної енергії на поверхні земної кулі в основному визначає кліматичні умови різних районів.

Сонце нагріває атмосферу Землі не зверху, як здається на перший погляд, а знизу. Теплове інфрачервоне випромінювання, проходячи через товщу атмосфери, вбирається дуже мало, а тому майже повністю досягає земної поверхні і нагріває її. Аналогічно сонячне проміння проникає через холодне намерзле віконне скло, не нагріваючи його, тоді як предмети в кімнаті нагріває. Більша частина

енергії, потрапляючи на земну поверхню, вбирається, решта відбивається назад у світовий простір. Кількість відбитої енергії залежить від характеру земної поверхні. Свіжий сухий сніг відбиває близько 95 % енергії, що падає на нього, забруднений сніг — 45 %, пісок пустелі — 30 %, зоране поле — 14 %, а вода — всього 6 %.

Вбираючи енергію сонячного випромінювання, земна поверхня нагрівається. Від нагрітої поверхні Землі нагріваються прилеглі до неї шари повітря. Оскільки верхні шари повітря мають меншу температуру, ніж нижні, то в результаті нагрівання повітря знизу виникає теплопередача за рахунок конвекції між теплими і холодними шарами. Піднімаючись разом з теплим повітрям, пара води внаслідок охолодження у верхніх шарах конденсується, утворюючи хмари. Отже, теплообмін за рахунок конвекції в шарах повітря є причиною кругообігу води в повітрі.

Відбивання сонячного випромінювання земною поверхнею істотно залежить також від висоти Сонця над горизонтом. Чим вище Сонце над горизонтом, тим більше сонячних променів потрапляє в одну й ту саму ділянку земної поверхні. Тому в першу половину сонячного дня температура підвищується, а в другу — знижується. Крім добової зміни температури на Землі спостерігаються також річні зміни температури, які залежать від висоти Сонця над горизонтом протягом різних пір року. Весною Сонце з кожним днем піднімається вище над горизонтом, ночі стають дедалі коротшими, дні довшими, нагрівання земної поверхні в цей час зростає, повітря поступово нагрівається. Восени спостерігається зворотна картина. Від висоти Сонця над горизонтом залежить відбивна здатність поверхні води. Коли Сонце стоїть високо, поверхня води відбиває всього кілька процен-

тів енергії, а коли воно знаходиться поблизу горизонту — майже всю енергію падаючого проміння.

Безумовно, добові і річні зміни температури повітря є важливою, але не єдиною причиною зміни погоди. Істотно впливають на погоду зміни температури, зумовлені переміщеннями гігантських мас повітря з тепліших районів земної кулі в холодні і навпаки. Цей процес переміщення повітряних мас обумовлюється кількома причинами. Одна з них — нерівномірне нагрівання поверхні земної кулі. В екваторіальній частині, де Сонце частіше стоїть високо над горизонтом і земна поверхня нагрівається сильніше, виникають висхідні потоки повітря і відбувається зниження атмосферного тиску, оскільки тепле повітря має меншу густину, ніж холодне. До цих місць із зниженим атмосферним тиском надходять холодні потоки повітря із сусідніх ділянок, і таким чином виникає вітер, спрямований до екватора. У полярних частинах, де земна поверхня вбирає найменшу кількість енергії, виникають вітри, спрямовані від полюсів. Повітряні маси переносять із собою не тільки енергію, а й вологу. Холодні північні вітри зумовлюють зниження температури, маси холодного повітря, що надходять з океанів на материки, несуть опади. Таким чином, внаслідок нерівномірного прогрівання ґрунту і нижніх шарів атмосфери відбувається потужний конвективний теплообмін між полярними та екваторіальними районами Землі.

Другою причиною переміщення повітряних мас є неоднакові теплові властивості, зокрема такі, як теплопровідність і теплоємність води (морів і океанів) і ґрунту. Маючи меншу питому теплоємність ґрунту, суша нагрівається і охолоджується значно швидше, ніж моря і океани. Тому влітку, коли суша нагріта,

вода в морях значно холодніша. Це добре відомо всім, хто купався в морі. Взимку суша встигає значно охолонути; у той час як море ще тепле. Це знову зумовлює конвективний теплообмін між неоднаково нагрітими шарами повітря.

Отже, теплообмін між Землею й Сонцем визначає клімат різних районів земної кулі, погоду, зміну температури за місяцями протягом року, за годинами протягом доби; є причиною виникнення вітрів, хмар, дощів, туманів тощо.

Енергія Сонця

Що таке Сонце? Це, мабуть, одне з найдавніших запитань. Люди не могли пояснити природу світила і тому вважали його божеством: бог Сонця Ярило — у стародавніх слов'ян, бог Сонця Ра — в єгиптян. І в наші дні Сонце залишилось головним символом життя. Сонце — на нашому Державному гербі. Сонце — на прапорі японців. Сонце — у віршах і поемах, «червоне сонечко» у піснях і прислів'ях.

Сонце — основне джерело енергії на Землі. За три хвилини воно випромінює на Землю стільки енергії, скільки весь світ витрачає її за цілий рік. Коли б з якихось космічних причин цей енергетичний реактор припинив свою роботу, Земля перетворилася б у замерзлу брилу, покриту двадцятиметровим шаром замерзлого повітря. На щастя, цього поки що не трапилось і коли трапиться, то не так вже й швидко: через 160 000 000 000 років. Усі інші джерела енергії — тепла енергія глибин Землі, випромінювання зірок тощо — для системи Земля — атмосфера мізерно малі і ними можна нехтувати.

Щосекунди всередині Сонця вивільнюється енергія, яка в мільйони разів перевищує ту, що виробляється на земній кулі за цілий рік. Ви перегорнули цю книжку, поглянули на малюнки. На це ви затратили близько хвилини. За хвилину в результаті випромінювання енергії маса Сонця зменшується на 270 мільйонів тонн — саме така маса випромінюється у безкраї простори космосу. За цю ж хвилину Земля дістає від Сонця енергію, еквівалентну 240 мільярдам кіловат, що в 24 тисячі разів перевищує потужність всіх енергетичних установок, створених людиною.

Практично джерелом всієї споживаної людиною енергії є Сонце. Вугілля, нафта і газ утворилися із залишків рослин і тварин, що росли і жили на Землі завдяки випромінюванню нашого світила. Вітродвигуни, що перекачують воду чи виробляють електроенергію, працюють під дією нагрітих Сонцем потоків повітря. І все-таки більша частина випромінюваної Сонцем енергії пропадає марно.

До недавніх пір учені були переконані, що в надрах Сонця горить своєрідна «термоядерна піч», схожа на ту, яка загоряється у водневій бомбі. Вважали, що саме ця «піч» й дає енергію та світло. Але нещодавно американські вчені з подивом переконалися, що ніякої «печі» там немає.

Під час термоядерної реакції випромінюються дрібнісінькі частинки речовини — нейтрино, які мають надзвичайно велику проникну здатність. Для нейтрино пронизати наскрізь земну кулю чи Сонце так само просто, як сонячному променю — шибку вікна. Припустивши, що в надрах Сонця відбувається термоядерна реакція, можна підрахувати, що Сонце має випромінювати щосекунди велику кількість нейтрино. Однак проведений експеримент переконливо показав, що наше світило випромінює

дуже мало нейтрино. Радянські астрономи з Кримської астрономічної обсерваторії з'ясували: температура й тиск в глибинах Сонця такі, що напевно «термоядерної печі» там немає, або «горить» вона дуже слабо. Таким чином, якщо до недавніх пір (до 1972 р.) фізики й астрономи вважали, що вони досить непогано знають внутрішню будову Сонця і можуть впевнено сказати, чому воно світить, то зараз навколо цих питань знову відбуваються гострі дискусії, пропонуються нові моделі, проводяться все нові й нові дослідження. Та, незважаючи на всі дискусії, можна впевнено сказати: усе живе на Землі народжене Сонцем і залежить від Сонця. І ми, люди,— також діти Сонця.

Працює Сонце

Коли в стародавньому Римі не вистачало м'язової сили рабів і виникла перша в історії людства «енергетична криза», жителі Вічного міста почали використовувати енергію води. Дивовижна система акведуків застосовувалась не тільки для забезпечення міст водою. За її допомогою почали приводити в дію млини та інші механізми.

Пізніше, крім водяних, створили й вітряні млини, і людство перестало витрачати надмірні фізичні зусилля. З часом у ряді країн створили парові машини, які працювали на дровах. Але запаси дров у цих країнах швидко вичерпалися і виникла нова енергетична криза. Та незважаючи на всі передбачення кінця світу (такі передбачення робились у всі часи), цивілізація не занепала. Люди почали видобувати вугілля, а пізніше — нафту і газ.

Та на Землі дорогоцінні ресурси «нагромадженого сонячного світла» швидко виснажуються. При

теперішніх темпах споживання за наступні 20 років буде витрачено стільки енергії, скільки її використали за всю попередню історію людства. Багато вчених обгрунтовано вважають, що у пошуках нових джерел енергії неправильно орієнтуватися лише на кам'яне вугілля і уран, оскільки їхні запаси не відновлюються, а отже у недалекому майбутньому вичерпаються, як і запаси нафти, в багатьох країнах світу.

Зараз багато вчених вважають за доцільне взяти курс на використання сонячної енергії.

Усі потреби людства в енергії можна задовольнити енергією сонячного випромінювання, яке потрапляє на площу всього кілька десятків тисяч квадратних кілометрів. І це становить лише тисячну частину енергії Сонця, яка досягає нашої планети. За підрахунками вчених сонячна енергія, яка протягом року потрапляє лише на Аравійський півострів, більше, ніж вдвічі перевищує енергію запасів нафти всієї земної кулі.

Використати справді невичерпні енергетичні ресурси не так просто, хоча люди почали застосовувати сонячну енергію дуже давно. Ще в 212 р. до н. е. Архімед використав сонячне світло, відбите від сотень полірованих металевих щитів, для боротьби з флотом ворога під час облоги Сіракуз римлянами. Сіракузькі воїни за вказівкою великого вченого сфокусували сонячні промені на один з кораблів загарбника, і він зрештою запалав, мов смолоскип. У 1785 р. французький учений Л а в у а з ь є (1743—1794) скористався методом Архімеда для плавлення платини. Порівняно недавно, близько ста років тому, швед Джон Е р і к с о н сконструював парову машину, яка успішно працювала на сонячній енергії. У 1877 р. залізний сонячний калорифер був використаний для обігрівання будинку: вентилятор проганяв через

нього повітря і спрямовував потік підігрітого повітря у приміщення. Через рік на паризькій виставці демонструвався паровий друкарський прес, який приводився в дію параболічним концентратором сонячних променів.

Сьогодні сонячна енергія в обмежених масштабах використовується для обігрівання житлових та інших будинків у різних районах світу. Найбільш звичним прикладом є встановлення на даху будинку сонячних нагрівників, які забезпечують дешеву гарячу воду для побутових потреб. Нещодавно в Мадриді побудували вісімнадцятиповерховий будинок, зовнішні стіни якого (ті, що звернуті на південь, захід і схід) «облицьовані» сонячними батареями, які перетворюють енергію сонячного випромінювання в енергію електричного струму. На думку проектувальників, енергії іспанського сонця повинно вистачити, щоб кондиціонери підтримували у квартирах температуру взимку не нижчу, як 22, а влітку — не вищу, ніж 25 °С. На випадок, коли сонце сховається на кілька днів, на горищі будинку встановлено резервуар із запасом води, яка постійно підігрівається енергією батарей. Правда, завбачливість здається зайвою: хмари над Мадридом — річ рідкісна. Метеорологи твердять, що за останні сто років був єдиний випадок, коли суцільна хмарність протрималася одинадцять діб підряд.

У США в 1975 р. 183 будинки обігрівалися за рахунок сонця. А в 1978 р. — вже близько 5 тисяч. В інституті архітектури США вважають, що до 1990 р. ця цифра досягне 8 мільйонів. Це означає, що кожний десятий будинок у країні обігріватиметься за рахунок сонячної енергії.

Зараз найбільш економічними й надійними вловувачами сонячної енергії є плоскі колектори. Вони забезпечуються геліостатами — обладнанням,

яке автоматично повертає їх за Сонцем, подібно до квітки соняшника.

Батареї фотоелектричних елементів, які називаються ще сонячними батареями, безпосередньо виробляють електроенергію, коли на них потрапляє сонячне світло. Ці батареї працюють добре, недарма вони широко використовуються для забезпечення електричною енергією супутників та інших космічних апаратів. Сьогодні сонячними батареями приводяться в дію телевізійні передатчики в Африці, плавучі буї берегової охорони і маяки нафтових вишок в Мексиканській затоці. Сонячні батареї забезпечують електроенергією телефонні будки аварійного виклику на кільцевій автодорозі в Вашингтоні. І майже кожний виведений на орбіту космічний апарат живиться енергією за рахунок пурпурово-блакитних панелей сонячних батарей. Але їх вартість ще занадто висока для застосування в більшості галузей народного господарства.

Багато спеціалістів з використання сонячної енергії вважають, що найближчим часом удосконалиться технологія виробництва сонячних батарей, і вони стануть значно дешевшими та ефективнішими. Це може істотно вплинути на наше життя й економіку, оскільки в кожному будинку і в кожній квартирі можна буде встановити «електростанцію», розмістивши її на даху чи у вікні.

Нещодавно один підприємець з Південної Кароліни (США) побудував у Рівердсайді квартал з 33 будинків із сонячним обігріванням. Подивитись на нові будинки зібралось понад 10 тисяч чоловік. Будинки було швидко продано, і складено досить довгий список бажаючих придбати подібні будинки.

Пошуки можливостей підкорення сонячного проміння проводяться в багатьох країнах світу. Так, у Франції, у селищі Шавонсі-ле-Шато, що в Лотарин-

гії, уже кілька років експлуатується будинок із сонячним обігріванням, яке ґрунтується на використанні законів циркуляції потоків теплого і холодного повітря. Цей, на думку французьких інженерів, прототип будинку майбутнього фасадом повернутий точно на південь, щоб захоплювати максимум сонячного світла. Стіна фасаду складається з чотирьох товстих бетонних панелей, пофарбованих у чорний колір, щоб вони краще вбирали теплове (інфрачервоне) проміння. Перед панелями розміщена потрійна скляна перегородка, щоб дістати так званий *парниковий ефект*. У цілому створюється досить ефективна «пастка» для сонячної енергії.

Бетонні панелі мають отвори, через які тепле повітря надходить всередину будинку і там, як легше, піднімається вгору. У міру охолодження повітря надходить через отвори в стіні до «теплиці» і там знову нагрівається. Протягом дня стіна нагромаджує енергію, яку вночі віддає житловим приміщенням.

Влітку система циркуляції повітря в будинку виконує протилежне завдання. Якщо відкрити вікна з північної сторони будинку, то свіже повітря, надходячи у будинок, витіснятиме нагріте, яке «виходитиме» через отвори в південній стіні.

На думку французьких спеціалістів, цей принцип обігрівання досить простий, отже, його можна застосовувати при масовому спорудженні будинків. Погано лише те, що будинки з чорними фасадами мають неестетичний вигляд.

Одна з похилих площин невеликого будинку під Аахеном у ФРН наполовину скляна. Під нею розміщено сонячний колектор. Його завдання — вловлювати енергію сонячного випромінювання і передавати в опалювальну систему будинку. Від колектора підігріта вода надходить у котел, що міститься у підвалі. За рахунок сонячного проміння вода нагрі-

вається до 95 °С. Навіть у дощовий день у будинку тепло, є гарячий душ.

В Англії також створено сонячну установку для обігрівання житлових і господарських приміщень, яка дає можливість за рік зекономити 35—40 % електроенергії, що витрачається зараз на нагрівання води для систем водяного опалення.

Пошуки способів використання сонячної енергії дедалі ширше проводяться і в Радянському Союзі. Протягом кількох років під Геленджиком, в Єревані, біля Ашхабада, проводились випробування сонячних батарей. Після тривалих досліджень у туркменському радгоспі «Бахарден», розташованому в Центральних Каракумах, було побудовано сонячну електростанцію, яка працює вже кілька років. Тут ще в 1969 р. змонтовано сонячну установку для підймання води із свердловини завглибшки 12 м. Вона працює разом із сонячним опріснювачем, оскільки ґрунтові води тут сильно мінералізовані. Установка повністю автоматизована, протягом дня вона повертається за сонцем в міру його руху.

У 1977 р. в Симферополі почала працювати перша в нашій країні дослідно-промислова геліопаливна установка. У дворі готелю «Спортивний» розміщена котельня, яка працює на природному газі. Поряд з котельнею на високих фермах встановлено панелі плоских сонячних колекторів. Геліоустановка змонтована в одному блоці з газовою котельнею, вона є ніби її продовженням. У сонячні дні, а їх у Криму щороку буває до 260, енергія акумулюється у воді, яка циркулює по колектору, і передається в теплообміннику іншій воді, що забезпечує енергією приміщення готелю. Температура води перевищує 60 градусів. Зібраного за день запасу в резервуарах вистачає на всю добу. А коли інтенсивність сонячного випромінювання зменшу-

ється, автоматично вмикаються на допомогу сонцю газові пальники котельні.

Конструкція геліоустановки проста: вона складається з 320 плоских сонячних колекторів загальною площею 200 квадратних метрів. Під склом лежить панель, покрита чорною матовою фарбою, яка вбирає понад 90 % сонячної енергії, що потрапляє на неї. Залежно від інтенсивності сонячного випромінювання циркуляція води в блоках автоматично прискорюється чи сповільнюється.

Установка дає можливість щороку зекономити близько 30 % газу, який спалювався раніше в топках котельні.

Перший житловий будинок із сонячним опаленням споруджується в новому мікрорайоні Ізмаїла. Енергію на його п'ять поверхів приносить вода, нагріта променями денного світила. Система працює від геліоустановки, розміщеної поряд.

Південь України, зокрема Чорноморське узбережжя, де 260 днів на рік сонячні, стає районом впровадження геліотехніки. Будинки із сонячним опаленням уже успішно випробувані під Одесою в селі Болгарці. У них використано тонкостінні алюмінієві панелі-радіатори загальною площею 75 квадратних метрів. Вони зібрані в касети, встановлені так, що сонячні промені падають на них протягом двох третин світлового дня.

В одинадцятій п'ятирічці такі будинки споруджуються в Одесі, Ізмаїлі і в деяких селах Одеської області.

В Ашхабаді збудовано два оригінальні житлові будинки, в яких передбачена система кондиціонування повітря за допомогою сонячної енергії. Іншими словами, учені пропонують небесному світилу досить незвичайну для нього роль — бути постачальником прохолоди.

Давайте завітаємо у містечко Бікова, що під Ашхабадом, яке давно стало центром різних експериментів. Їх проводять туркменські фізики та інженери. На всій території геліотехнічної бази немає більш «габаритного» об'єкту дослідження, ніж виблискуючий білизною триповерховий будинок. По торцевій драбині піднімаємося на дах. Мабуть, саме тут можна спостерігати за утворенням штучного холоду. Хоча науковою мовою дах називається досить прозаїчно — регенератор розчину. Майданчик цей розміром 180 м³, виглядає він як звичайний плоский дах. У жаркі дні по ньому повільно стікає тонкою плівкою безбарвний розчин хлористого літію, досягши краю схилу, збігає у відводну трубу. Потім знову повертається «погрітися на сонці». Цей цикл чимось нагадує принцип роботи екскалятора в метро. За рахунок енергії нагрітого розчину працює абсорбційна холодильна установка, яка міститься в машинному залі підвального приміщення. Охолоджена до 5—15 °С рідина розподіляється по трубах квартирних панелей і охолоджує повітря в кімнатах будинку. Робить це вона дуже вміло. Якщо на подвір'ї термометр показує, наприклад плюс 40, то в кімнатах температура не перевищує 25 °С.

Дах будинку зорієнтований на південь. Подібно до дзеркала величезного телескопа, він намагається «впіймати» якомога більше сонячних променів. В експериментальному будинку вдається використати близько половини енергії падаючого сонячного випромінювання.

В експериментальному будинку під Ашхабадом розмістився відділ перетворення сонячної енергії Фізико-технічного інституту АН Туркменської РСР. І в цьому є сенс. Якщо в полуденну спеку науковці зможуть працювати в кабінетах, не скидаючи піджаків, значить результати експерименту добрі.

Наукові працівники створюють не тільки холод за допомогою Сонця, а й зразки сонячних опріснювачів, які нагадують великі промивні ванни фотолабораторій, лише засклені вони так само, як парники. Всередині по склу одна за одною стікають краплі прісної води. Вони утворюються з розчину, який містить 30 і більше грамів солі на літр.

Кожний, кому довелося побувати в Каракумах, напевно, знає ціну прісній воді. У пошуках її люди свердлять свердловини, риють колодязі завглибшки кілька десятків, сотень метрів. І немає гарантії, що під товщею піску не виявиться солонувато-гіркувата волога, до якої вівця й не доторкнеться. Сонячні опріснювачі, безперечно, допоможуть розв'язати гостру проблему забезпечення водою чабанських селищ і численних отар.

Туркменські вчені працюють і над проблемою цілорічного вирощування овочів. Проникаючи через захисне скло, промені Сонця взимку створюють у теплиці парниковий ефект. Частину енергії вбирає вологий ґрунт, встановлений у теплиці в ящиках. Коли температура повітря трохи знижується, земля-акумулятор повертає одержану енергію. І для вирощування овочів не потрібне додаткове обігрівання.

Важливий напрям використання сонячної енергії — сонячні печі. У таких печах температура може досягати 3000 °С і більше. Сонячні печі виконують понад 20 видів робіт, деякі з них навіть краще, ніж інші типи печей. По-перше, у них може плавитись найбільш тугоплавкий матеріал, оскільки створюється дуже висока температура. Друга важлива перевага — «стерильність» умов процесу і можливість застосувати будь-яке газове середовище чи вакуум. Адже «сонячну плавку» можна проводити в герметичній посудині чи під ковпаком, аби лише вони були оптично прозорими.

У сонячних печах дістають дуже чисті, з унікальними властивостями метали, високоякісні спеціальні сталі і жароміцні матеріали, «примхливі» з технологічного погляду напівпровідники з мінімальною кількістю домішок. Користуються печами і хіміки. Наприклад, методом «загартування» (високотемпературним нагріванням повітря і потім його охолодженням) вдається окислити азот повітря і дістати з окислів азотну кислоту та інші нітрати, потрібні сільському господарству.

Розроблено і досить екзотичні способи використання сонячної енергії. Так, у США сонце «заводить» наручні годинники. Для цього їх достатньо освітити протягом 10—15 хвилин. Елементи, якими живиться електричний механізм годинників, можуть виробляти електроенергію і при опроміненні звичайною лампою. А в Іспанії створено автомобіль, який приводиться в рух сонячними батареями, що розміщені зверху на машині. Автомобіль розвиває швидкість 50 кілометрів за годину.

Людству не обійтися без щедрих дарів Сонця. Сонячні установки зіграли важливу роль у технічному прогресі багатьох галузей науки і народного господарства. Ось чому сьогодні проблема освоєння сонячної енергії привертає серйозну увагу вчених світу.

Енергія «Хліба промисловості»

Нестача енергії в капіталістичному світі відчувається дедалі гостріше, і водночас енергія найбільш поширеного викопного палива — кам'яного *вугілля* — використовується далеко не повністю. Воно утворюється з решток рослин. Бактерії, виділяючи ферменти, перетворили їх у камінь, що містить

вуглець. За прогнозами світові запаси кам'яного вугілля становлять 16 трильйонів тонн, чверть яких можна добувати сучасною технікою. У 1950 р. вугілля в енергетичному балансі планети становило приблизно 50 %, а в наступні роки його вага знизилась до 30 %. Це й зрозуміло — зросла потреба в рідкому паливі. Але запаси рідкого палива поступово вичерпуються — світових запасів нафти в кілька разів менше, ніж вугілля. У книжці американських дослідників Рокса і Рів'ена «Енергетична криза» зазначається, що в світі залишилося всього 295 мільярдів тонн нафти, у тому числі в США 12—18 мільярдів тонн, з яких лише 6 можна видобути сучасними методами.

Учені продовжують вести наполегливі пошуки як нових джерел енергії, так і нових, досконаліших способів використання вугілля і насамперед як джерела енергії. При цьому, звичайно, особлива увага приділяється проблемі охорони навколишнього середовища. Адже вугілля — дуже брудне паливо, принаймні, коли йдеться про сучасні методи спалювання.

Відомо, що питома теплота згоряння бурого вугілля значно нижча, ніж антрациту. Якщо питома теплота згоряння донбаського антрациту становить 27 200 кДж/кг, то бурого вугілля — 11 600 кДж/кг. Щоб підвищити його ефективність, спеціалісти пропонують різні дослідно-промислові установки. Учені енергетичного інституту імені Г. М. Кржижановського і Свердловського вуглехімічного Східного науково-дослідного інституту розробили новий спосіб переробки бурого вугілля, що називається термоконтактним коксуванням. В результаті цього процесу дістають коксит (або напівкокс) і горючий газ, які можуть бути чудовим паливом для теплових електростанцій. А смоли, що є побічним продуктом пере-

робки, містять у собі бензол, фенол і багато інших цінних речовин. Таким чином, з'явилась можливість перетворювати малопродуктивне буре вугілля у важливу сировину.

Розробляються досконаліші методи газифікації вугілля, які забезпечують вищий процент виходу метану. Якщо вони застосовуватимуться в промисловості, то почнеться нова сторінка в розвитку доатомної енергетики. Вугілля — «хліб промисловості». Ця крилата фраза В. І. Леніна в наші дні набуває нового актуального змісту.

Сьогодні «хлібом промисловості» є не тільки вугілля, а й природний газ і нафта. Невидимим багатством називають природний газ, легший за повітря. Про існування цього газу люди знали здавна. Ще Геродот — давньогрецький учений, який жив за півтори тисячі років до нашої ери, писав про довічні вогні, що палали на горі Хімера в Малій Азії. Понад 2500 років тому народи Індії, Ірану і Хорезму вклонялися богу вогню — Аштегу. З вуст в уста передавалася звістка: на південно-західному березі Гірканського (тепер Каспійського) моря споконвіку палає факел. Ішли до нього нескінченним потоком прочани, щоб вклонитися факелу, який горів і вдень, і вночі.

Дивовижна речовина природний газ! По-перше, це чудове паливо. Одного кубічного метра його достатньо для приготування обіду з трьох страв на 8—10 чоловік або для користування холодильником протягом 40—45 год, прання 7—8 кг білизни, прасування протягом 20—22 год. По-друге, це прекрасна хімічна сировина. Природний газ — невичерпне джерело для одержання різних пластмас, синтетичних смол, каучуку і волокна. З 1 млрд. кубічних метрів газу можна виготовити 500 тис. тонн хімічних продуктів, у тому числі 100 тис. тонн пласт-

мас, 280 тис. тонн азотних добрив, 20 тис. тонн синтетичного волокна, 90 тис. тонн миючих засобів і 10 тис. тонн ацетилену.

Нафта... Цю маслянисту рідину не випадково називають чорним або рідким золотом, чорною кров'ю землі. Із сивої давнини вона відома людям. Її використовують як паливо, для освітлення, лікування шкірних хвороб. Існують письмові свідчення про те, що у VIII столітті нафту в Баку не тільки добували і використовували на місці, а й вивозили в сусідні країни.

До середини XIX століття її добували у порівняно обмежених кількостях: здебільшого вручну черпали з неглибоких криниць.

Нафта — дуже важлива хімічна сировина. З неї можна дістати близько 20 тис. різноманітних органічних речовин, більшість з яких — напівфабрикати для вироблення пластмас, синтетичних волокон, каучуку. В середньому з однієї тонни нафти можна виготовити близько 400 кг синтетичних смол і каучуку.

Твердий газ

Відвідувачам Якутського інституту фізико-технічних проблем Півночі звичайно показують блискучі напівпрозорі брикети льоду і пропонують кинути шматочок такого льоду у чашку з теплою водою. Лід з гучним шипінням миттєво розчиняється у воді, перетворюючи її на газовану воду. Пояснюється це явище дуже просто. Це не звичайний лід, а так званий газогідрат, тверда сполука газів з водою. Кубічний сантиметр такого газогідрату виділяє до ста п'ятдесяти кубічних сантиметрів звичайного газу.

У певному розумінні газогідрат — продукт далеко не новий. З ним зіткнулися ще в 30-х роках нашого століття: при великих морозах у газопроводах утворювались льодові пробки, які перешкоджали їх нормальній роботі. Газ замерзав, утворюючи з льодом своєрідну тверду речовину — газогідрат. Спочатку дослідники думали лише над тим, як запобігти утворенню взимку газогідратних пробок у сталевих магістралях. І зовсім було несподівано відкриття групи сибірських учених під керівництвом академіка А. Г. Трофімчука, що «твердий газ» має право на існування, що він не перешкода на промислах, а реальне, причому досить перспективне, джерело енергії. Було встановлено, що при певних умовах (хімічний склад, тиск, температура) природний газ у земній корі може перетворюватись у твердий стан і утворювати газогідратні родовища.

Кількість газу в таких родовищах визначається різними факторами: пористістю породи, об'ємом води, складом газу, зміною тиску. Газогідратні родовища можуть бути в зонах знижених температур верхньої частини земної кори і в основному в багаторічних мерзлих ґрунтах, на глибині до двох і більше кілометрів.

На захід від Норильська було відкрито перше велике родовище газогідратів — Мессояхське, а потім — ще кілька. По суті вся область «вічної» мерзлоти (а це майже половина території СРСР) перспективна щодо утворення твердого газу. Адже для цього потрібна насамперед низька температура в надрах Землі.

Доведено, що сприятливі умови для гідратації газу існують на дні морів та океанів. Тиск там створюється товщею води, температура якої на великих глибинах завжди мало відрізняється від нуля, а органічні рештки безперервно осідають з

верхніх шарів води. При цих умовах газ, що утворюється внаслідок розпаду органічної речовини, переходить у гідратний стан.

Поки що морські родовища не розробляються, але, мабуть, добувати твердий газ з дна моря буде легше, ніж на суші. Нерідко газonosні шари розміщені всього за кілька сантиметрів чи метрів від поверхні дна, що дасть можливість добувати газо-гідрати відкритим способом. Розроблено проект використання спеціальних ковпаків діаметром кілька десятків метрів. Їх з'єднуюватимуть трубопроводом з плавучою платформою і опускатимуть на дно, де машини подрібнюватимуть шар гідрату. Твердий газ шматками спливатиме по трубах на поверхню океану, оскільки його густина набагато менша за густину глибинної води.

Радянські геологи продовжують пошуки газо-гідратних родовищ і удосконалюють методи добування твердого газу — «горючого льоду», який за виглядом майже не відрізняється від справжнього льоду.

Каркас решітки гідрату, як і звичайного льоду, складається з молекул води. Але розміри порожнин у ньому значно більші, ніж у льоду. Внаслідок заповнення цих порожнин молекулами газу і виникає «твердий газ».

Утворюються газові гідрати в земній корі із суміші метану, етану, пропану та інших газів і води під тиском від 0 до 24,5 МПа при від'ємних та невисоких додатніх температурах (до 20 градусів за Цельсієм). В одному об'ємі гідрату може міститись до 200 об'ємів газу, хоча при звичайних умовах у кубометрі води важко розчинити більш як чотири кубометри природного газу.

Калорійність двох літрів молока дорівнює енергії одного кілограма динаміту

Людство з давніх пір використовує різні види палива: дрова, кам'яне вугілля, нафту, природний газ, торф, горючі сланці тощо. Про якість палива судять за тією кількістю енергії, що її виділяє 1 кг палива внаслідок повного згоряння, тобто за питомою теплотою його згоряння. Особливо високою є питома теплота згоряння нафти, природного газу й кам'яного вугілля.

Їжа також є своєрідним паливом, яке використовується в нашому організмі з різною метою: для підтримання сталої температури тіла, для живлення й відновлення тканин, для виконання фізичної роботи. Певна кількість енергії нагромаджується у вигляді жиру. Дослідами встановлено, що тільки 28 % енергії їжі перетворюється в енергію м'язів, тобто коефіцієнт корисної дії не вищий за 28 %.

Різні види їжі, що споживається, дають більше чи менше енергії. У таблиці поряд з питомою теплотою згоряння найбільш відомих видів палива зазначено калорійність ряду харчових продуктів у кілоджоулях на кілограм (кДж/кг):

Салат із свіжих овочів	650—2100
свіжі овочі	850—4200
коров'яче молоко	2750
риба, м'ясо	3400—16800
картопля	3800
динаміт	4600—5500
тротил	4000
буре вугілля	8400—25200
хліб	9250—12600
цукор	16800
кам'яне вугілля	21850—36100
топлене сало	37800
бензин	42000—46200
водень	142800

Чи не викликала у вас здивування та обставина, що кілограм кам'яного вугілля при згорянні дає в кілька разів більше енергії, ніж кілограм вибухової речовини: тротилу чи динаміту? Навіть два літри молока дають стільки енергії (5500 кДж), скільки й один кілограм динаміту. Руйнівна сила вибухової речовини пояснюється не тільки кількістю енергії, яка звільняється внаслідок вибуху, а насамперед тим, що енергія звільняється за дуже короткий час у вигляді вибуху. У снаряді, що містить 1 кг тротилу чи динаміту, минає всього 0,000008 с від моменту запалювання вибухівки до моменту повного згоряння й виділення всієї хімічної енергії. А процес горіння 1 кг вугілля при нормальних умовах триває кілька хвилин. Повільне звільнення енергії під час горіння вугілля пояснюється тим, що хімічна реакція сполучення вуглецю з киснем повітря, в результаті якої виділяється енергія, відбувається лише на поверхні куска вугілля. До глибших шарів вугілля не надходить кисень, потрібний для проходження реакції. А коли вугілля розбити на дрібний пил, то повітря надходитиме до найдрібніших частинок вугілля, і хімічна енергія вугілля може бути звільнена блискавично. Тому на вугільних шахтах вживають заходів, щоб запобігти вибухам вугільного пилу.

Скільки енергії потребує організм людини для життєдіяльності, або якою має бути раціональна дієта? Пригадаємо, що споживана організмом людини їжа витрачається на оновлення тканин, на утворення запасів (наприклад, відкладання жиру), у молодих організмах — на їх ріст. Проте, енергія їжі, що споживається, йде головним чином на покриття енергетичних затрат, які відбуваються у процесі життєдіяльності організму. Це, в основному, енергія, необхідна для підтримання сталої темпера-

тури тіла і компенсації витрат енергії в навколишнє середовище, а також механічна енергія різних рухів в організмі.

Встановлено, що організм дорослої людини в умовах помірного клімату втрачає за добу внаслідок випромінювання близько 7200 кДж. Якщо врахувати, що за добу людина виконує 3500—4200 кДж механічної роботи, то добова витрата енергії організмом становить 10 700—11 400 кДж. Ці витрати енергії має покривати їжа. Отже, раціональна дієта для людини, яка не виконує важкої фізичної роботи, має становити близько 12 000 кДж. А якщо виконує важку фізичну роботу, то дієта має давати більше джоулів. Особливо багато енергії витрачає людина, яка виконує важку фізичну роботу на великому морозі. Наприклад, добова витрата енергії кожного учасника експедиції газети «Комсомольская правда», що відправилась на лижах до Північного полюсу, становила близько 29 500 кДж. Це майже вдвічі більше, ніж витрачає людина в звичайних умовах. Тому й меню учасників цієї експедиції було складено так, що 1 кг їжі давав не менше 18 500 кДж.

За енергією — в глибини Землі

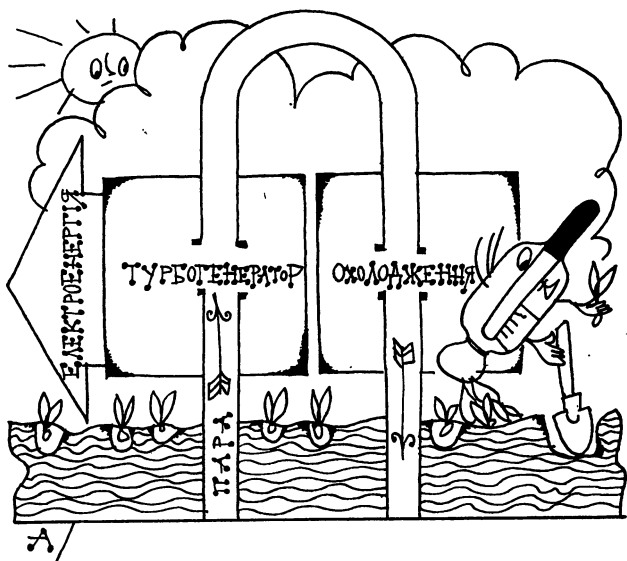
З тих пір, як людина вперше викупалася в гарячому джерелі, енергія гарячої води, яка надходить з-під землі, використовувалась для багатьох практичних потреб — прання білизни, приготування їжі, обігрівання. Але лише на початку нинішнього століття вчені спробували перетворювати цю енергію в електричну. Перша вдала спроба була зроблена у 1904 р. в Лардарелло (Італія), де почали використовувати суху пару, що виривається з-під землі.

Під нашими ногами — величезні поклади енергії, використання яких могло б значно допомогти у вгамуванні енергетичного голоду людства. Надра Землі, як відомо, розігріті до надзвичайно високих температур — понад 1000 °С. У більшості районів світу температура підвищується з глибиною дуже повільно. Але зустрічаються й великі гарячі ділянки, розташовані не дуже глибоко. Вони становлять практичну цінність. Ці «гарячі точки» з температурою 50—500 °С відомі під назвою «*геотермальних резервуарів*».

У цих резервуарах енергія зберігається у вигляді розігрітих гірських порід, а також води і пари, «загнаних» високим тиском у тріщини. Щоб добути цю енергію, через шари порід над резервуаром пробивають свердловини, і вода та пара вириваються на поверхню. Геотермальні резервуари діляться в основному на три категорії: гідротермічні, геонапірні й сухі. При існуючій технології найкращі результати дає освоєння гідротермічних резервуарів. Воду, яка циркулює в цих резервуарах, можна використовувати для прямого обігрівання будинків, а суху пару з підземних сховищ — для приведення в рух парових турбін.

Ідеальне геотермальне джерело — це резервуар сухої пари (мал. 31, а). Пара виходить з нього чистою, не забрудненою мінеральними речовинами, які спричинюють корозію. Отже, цю пару можна прямо подавати на лопаті турбін низького тиску. Поки що на Заході експлуатуються лише дві групи таких джерел — Лардарелло в Італії і Гейзери в Долині гейзерів, що розкинулися за 150 км на схід від Сан-Франціско.

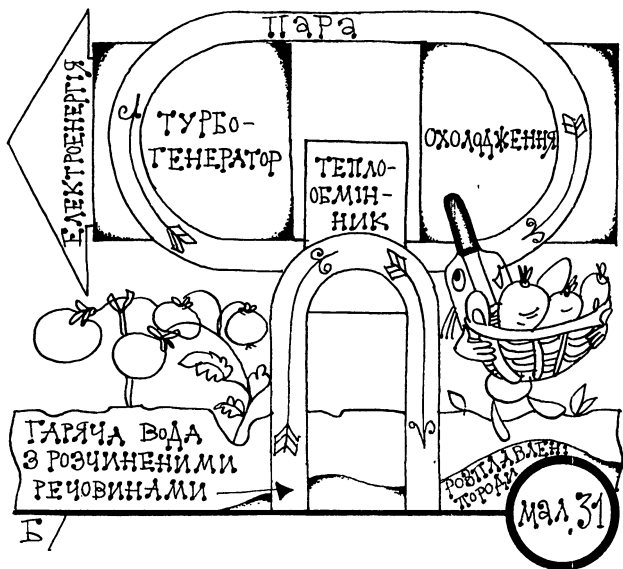
За підрахунками спеціалістів лише 5—10 % резервуарів містять суху пару. Здебільшого в підземних джерелах вода перегріта до температури 170—



370 °С, сильно мінералізована і солоня. Тому використання підземних «парових» котлів у великих масштабах потребує проведення складних робіт для попереднього очищення води, інакше мінералізована пара швидко роз'їсть обладнання. Коли свердловина досягає такого підземного джерела, то на поверхню виривається суміш, що складається з 80 % гарячої води і 20 % пари.

Таким чином лише близько 20 % киплячої води з цих свердловин перетворюється в придатну для використання пару, яку треба очищати в спеціальних сепараторах перед тим, як подавати на турбіни.

Отже, залежно від характеру джерела гарячої води і пари є два способи використання геотермальної енергії, показані на мал. 31, б.



Електростанції на «мокрій парі» вже працюють в багатьох країнах, у тому числі в СРСР, Італії, Ісландії, Новій Зеландії і Японії. Геотермальна енергія використовується в широких масштабах для обігрівання житлових і адміністративних будинків в Ісландії. Тут будинки обігріваються майже 300 днів на рік. Нині 40 % населення цієї країни обігрівають свої квартири теплом земних надр. В Ісландії та деяких районах Радянського Союзу, де літо занадто коротке, фрукти, овочі і квіти вирощують в гігантських теплицях, які обігріваються природною парою або гарячою водою.

Геонапірні резервуари заповнені надзвичайно гарячою водою, яка перебуває під високим тиском і насичена метаном.

Проте більша частина величезних запасів енергії земних надр, до яких можна дістатися лише буром, «зберігається» у сухій породі у вигляді розжарених скельних порід. Це потенціально найбільші і широко розповсюджені джерела енергії. Головна трудність в їх освоєнні полягає в тому, що вони розміщені в основному на глибині кілька кілометрів під поверхнею землі. Перш ніж вилучити енергію з резервуарів «сухої теплоти», необхідно розколоти щільні породи. Після цього через свердловину в ці породи накачується вода. Вона нагрівається там і у вигляді кип'ятку піднімається на поверхню по іншій свердловині. На жаль, поки що ніхто не придумав надійного та ефективного способу розколювання скельних порід. Пропонується багато проектів, серед них — підземні ядерні вибухи.

Недавно американські вчені з Національної лабораторії в Лос-Аламосі добилися значного успіху у використанні енергії розжарених порід. Вони просвердлили в горах штату Нью-Мексіко систему експериментальних свердловин. У дві свердловини, пробиті на відстані 76 м одна від одної, під високим тиском накачується вода, що утворює в гранітній товщі систему тріщин. Тріщини створюють велику поверхню для теплообміну. Потім в одну із свердловин під тиском від $6,5 \cdot 10^6$ до $7 \cdot 10^6$ Па нагнітається холодна вода. Вона просочується через систему тріщин, нагрівається, після чого викачується по другій свердловині.

Величезними запасами глибинної енергії Землі володіє наша країна. Джерела такої енергії зустрічаються значно частіше, ніж, наприклад, поклади вугілля, нафти чи газу. Глибинні гарячі води є в європейській частині СРСР, Західному і Східному Сибіру, на Далекому Сході, у Казахстані, Середній Азії. Наприклад, геотермальне Тюменське море за

своєю площею перевищує Чорне море. Температура води в ньому коливається від 60 до 300 °С.

Нині широко досліджуються методи використання енергії надр Землі в районах багаторічної мерзлоти. Це дуже перспективні дослідження. Більш як половина всіх запасів термальних вод країни зосереджена в Західному Сибіру. Використання енергії цих вод дасть багато вигод. Відомі родовища корисних копалин Північного Сходу СРСР — Таймиру, Якутії, Чукотки. Але через суворі кліматичні умови добувати мінеральну сировину відкритим способом тут можна лише протягом трьох-чотирьох місяців. Учені поставили завдання добитися експлуатації гірських підприємств протягом усього року за рахунок використання енергії гарячих джерел. Там, де природних джерел гарячої води немає, передбачається створення за допомогою вибухів штучних підземних котлів. У них по глибоких свердловинах нагнітатиметься холодна вода, а потім гарячу воду викачуватимуть і будуть використовувати для виробничих потреб.

Про високу ефективність та економічну доцільність використання глибинної енергії Землі для господарських потреб свідчить багато прикладів. Так, понад десять років успішно працює на Камчатці Паужетська геотермальна електростанція потужністю 5000 кВт. Вона виробляє електричну енергію в кілька разів дешевшу, ніж дизельні електростанції, розміщені в різних районах півострова. Це єдина в країні електростанція, яка працює під замком у буквальному значенні слова. Відмикають її лише для огляду приладів і ремонту. Спеціальні заслонки регулюють надходження пари на лопаті турбіни. Коли щось ламається — спрацьовує автоматика і в будинку чергового оператора звучить сигнал.

Уже підготовлено проект створення на Камчатці

нової, Кошелівської геотЕС, потужнішої, ніж Паужетська. А попереду — ще більш захоплюючі проекти. Зокрема, на Північному Кавказі планується спорудження геотермальної електростанції потужністю півмільйона кіловат.

Природною гарячою водою обігріваються великі житлові масиви ряду міст. Більш як половина будинків Махачкалі круглий рік забезпечується гарячою водою і обігрівається взимку за рахунок енергії термальних вод. У місті Кізляр, у Дагестанській АРСР, свердловини дають за добу 16 тисяч кубометрів води, температура якої 105 °С, і 10 тисяч кубометрів води, температура якої 47—50 °С.

Вигідно використовувати термальні води і в сільському господарстві, особливо для обігрівання теплиць і парників. Широке використання термальних вод може істотно допомогти у забезпеченні населення свіжими овочами.

Яку роль відіграватиме підземна енергія в задоволенні дедалі зростаючих потреб людства в енергії? Поки що на це запитання важко відповісти.

Звичайно, ніхто не чекає, що енергія земних надр повністю замінить енергію вугілля, нафти чи природного газу. Але використання енергії гарячих вод дасть можливість велику кількість цінних корисних копалин зекономити.

За підрахунками спеціалістів, до 2000 року потужність американських геотермальних електростанцій зросте до 395 млн. кВт. Це перевищує нинішню сумарну потужність електростанцій США. Американські компанії вже вступили в конкурентну боротьбу з метою одержання ліцензій на будівництво геотермальних електростанцій.

Турбіна в кратері вулкана

Люди в пошуках енергії освоїли всі існуючі джерела: приборкали потужні річки, створили гігантські турбіни, атомні реактори й магнітогідродинамічні генератори, почали використовувати енергію морських припливів і відпливів. Але до певного часу тримали про запас реактори, створені тисячоліття назад самою природою. Безплатну енергію вогнедишних гір, сконцентровану в надрах вулканів, використати до цих пір з технічних причин не вдавалося. Тепер такий час настав. Так наприклад, за проектом перетворення енергії Авачинського вулкану на Камчатці геотермічну електростанцію буде споруджено на сейсмічно безпечній відстані — за 4 км від вулкана, де на глибині 3,3 км температура породи досягає 600 °С.

Будівництво розпочнеться з буріння свердловин, в яких будуть підірвані потужні заряди. В результаті цього утвориться вогнедишний «котел» з численними тріщинами в розпеченій земній товщі. Вода з ближньої річки, що надходитиме по свердловинах, у «котлі» перетвориться в пару і, виходячи з інших свердловин, приводитиме в рух турбіни електростанції. Потужність станції становитиме 300 тисяч кіловат, це в 60 разів більше, ніж потужність Паужетської геотермальної станції (кольорова вклейка X).

Електроенергія, що вироблятиметься новою електростанцією, за розрахунками спеціалістів, буде набагато дешевшою від тієї, яку дають найбільш економічні гідроелектростанції.

Радянські вчені планують просвердлити Авачинський вулкан на глибину до шести кілометрів. Учені, які займаються вивченням будови й складу верхньої мантії Землі, підуть, звичайно, далі. Вони

вивчать геологічну будову «фундаменту» вулкана і залежно від здобутих результатів визначають методи буріння. Просвердливши свердловину, людина звільнить вулкан від зайвих внутрішніх нагромаджень і підвищеного тиску, тобто знешкодить його.

Точними методами встановлено — у надрах вулканів речовини нагріті до 800 °С. Авачинський велетень приховує в своїх надрах величезну кількість енергії — $4 \cdot 10^{16}$ Дж. Такої кількості енергії вистачить, щоб електростанція потужністю один мільйон кіловат могла працювати понад сто років. Проте змусити енергію вулкана обертати лопаті газових турбін — нелегке завдання. Крім того, невідомо які сюрпризи можуть чекати вчених та інженерів. Трапилось же таке: гарячий вулкан поблизу Солоного озера в США видав з глибини 200 м розчин з високим вмістом золота, срібла і свинцю. А якщо подібне станеться і на Камчатці? Звичайно, гріх крутити лопаті турбін такими дорогими металами. Інженери й технологи, напевно, зуміють запропонувати способи відбирання цінної сировини, а вже потім використовуватиметься гарячий розчин. Та найбільше шансів на те, що вулкан подарує першопрохідникам гарячу пару.

Настун на природні багатства, що віками «розбазарювались» вулканами, розпочався.



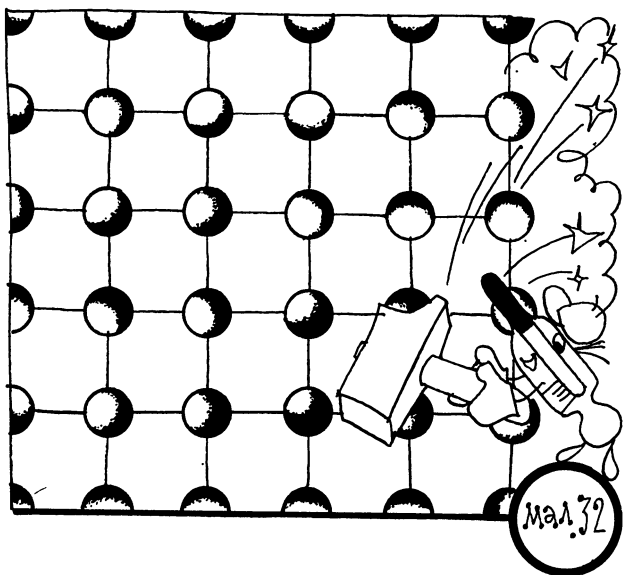
ДЕЩО
ПРО
МЕТАЛИ
І
СПЛАВИ

Кристали металів

У книжці для читання з фізики для VI класу говорилося про те, що тверді тіла мають кристалічну будову. Більш докладно ознайомимося з внутрішньою структурою типових кристалів — металів. Насамперед спробуємо відповісти на запитання: що таке метал? Вперше на це запитання дав відповідь у XVII столітті великий російський учений М. В. Ломоносов: «Метали — це блискучі тіла, які можна кувати». Хоча цьому означенню вже 200 років, воно не втратило свого технічного значення. Блиск і пластичність — характерні особливості металів, але в наш час цих особливостей вже недостатньо. У 1869 р. Д. І. Менделєєв дав, точне, з хімічного погляду, означення металів як елементів з певними хімічними властивостями, розміщених зліва у складеній ним періодичній таблиці.

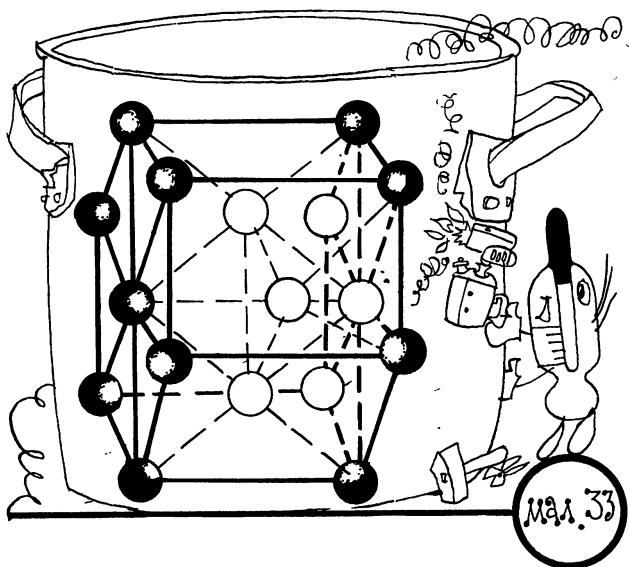
З погляду сучасної науки і це хімічне означення виявилось недостатнім. Металеві властивості елементів спостерігаються лише в твердому стані. У рідкому стані, тобто при високій температурі, деякі властивості металів частково зникають, а в газоподібному стані ще більше втрачається характерних особливостей металів. Окремі атоми не мають металевих властивостей. Отже, поділ речовин на метали й неметали повинен враховувати поєднання фізичних властивостей агрегатних станів речовини з хімічними властивостями окремих атомів.

Щоб відповісти на запитання, що таке метал, потрібно ознайомитися з його внутрішньою структурою. Атоми всіх елементів складаються, як вам відомо, з позитивно зарядженого ядра, оточеного негативно зарядженими електронами. У металах електрони слабо зв'язані з ядром і можуть легко

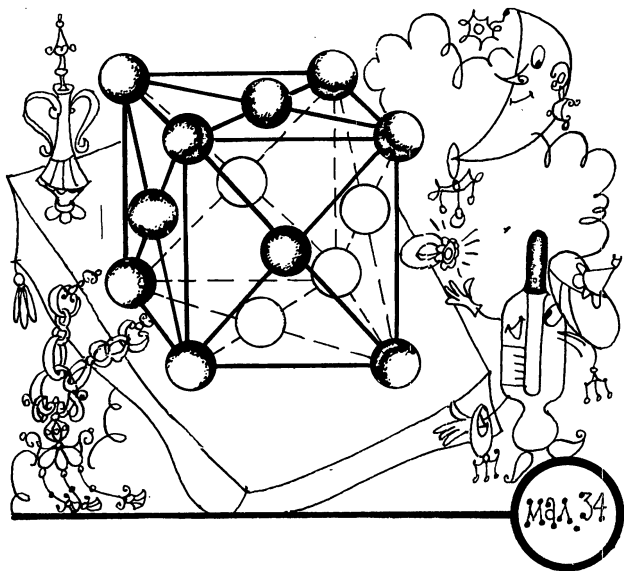


від нього відриватися. Атом, позбавлений електрона, називається *іоном*, але для спрощення надалі називатимемо іони в структурі металів *атомами*.

«Шматочок» металу можна уявити у вигляді незліченної кількості атомів, які хаотично коливаються. Точно визначене положення атомів металу у просторі є дуже важливою його характеристикою. Атоми утворюють так звані атомні кристалічні решітки. Кристалічну структуру металів можна уявити у вигляді сітки, у вузлах якої містяться атоми. Зображена на мал. 32 сітка називається кристалографічною площиною. Сукупність таких площин, розміщених одна біля одної, дають картину кристалічної структури металів або так звану кристалічну

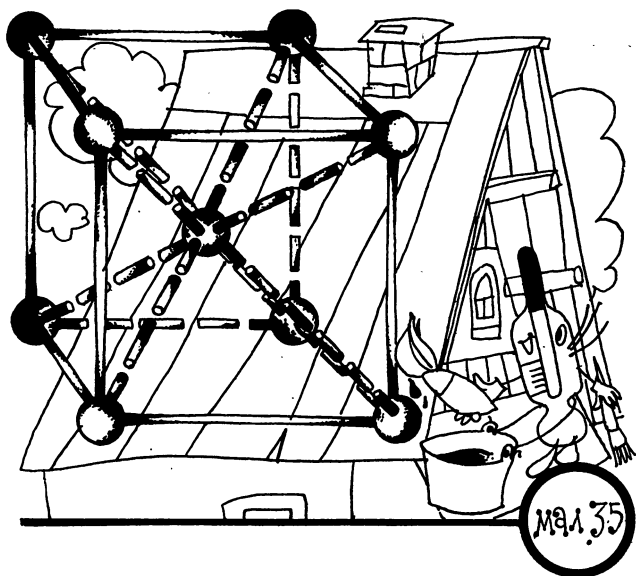


решітку. На мал. 33—35 подано типи елементарних комірок просторової решітки металів. Відповідно до решітки, показаної на мал. 33, кристалізуються хром, ванадій, натрій тощо, а крім того, залізо, яке називають альфа-залізом (α -залізо), з яким ми переважно маємо справу. Відповідно до кубічної, компактної решітки (мал. 34) кристалізуються алюміній, мідь, срібло, золото, платина і так зване гама-залізо (γ -залізо). Деякі метали можуть кристалізуватися у вигляді двох типів решіток, що в основному залежить від температури. Наприклад, залізо при температурах до $912\text{ }^{\circ}\text{C}$ кристалізується як α -залізо, при температурах від 912 до $1400\text{ }^{\circ}\text{C}$ — у формі γ -заліза, а при температурах понад $1400\text{ }^{\circ}\text{C}$

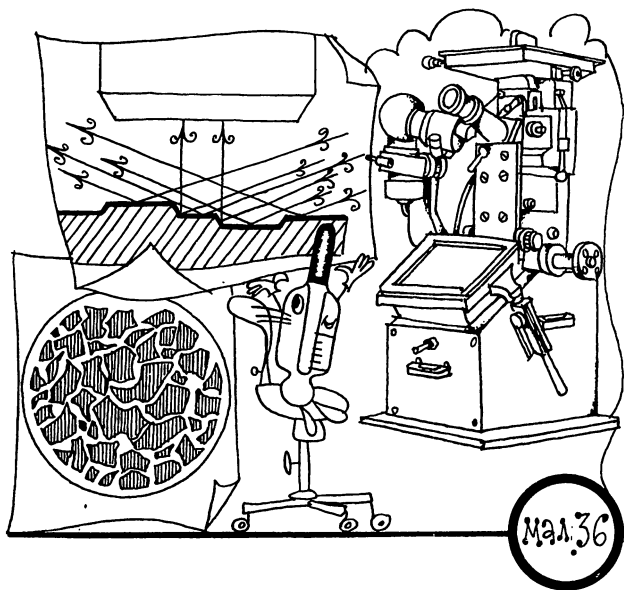


знову набуває форми решітки α -заліза. Так звану гексагональну решітку (мал. 35) мають такі метали, як магній, берилій, цинк.

Розміри елементарних кристалічних решіток надзвичайно малі, порядку розмірів атома. Для їх вимірювання довелося навіть придумати спеціальну одиницю довжини — ангстрем (\AA). Один $\text{\AA} = 0,0000000001$ м. Радіус атома заліза становить $1,27 \text{\AA}$ ($0,000\ 000\ 000\ 127$ м), а відстань між центрами двох суміжних атомів у кристалічній решітці заліза дорівнює $2,86 \text{\AA}$ ($0,000\ 000\ 000\ 286$ м). Отже, у твердому стані атоми металів мають постійні, впорядковані у вузлах кристалічної решітки місця, завдяки чому металевий предмет зберігає свою форму.



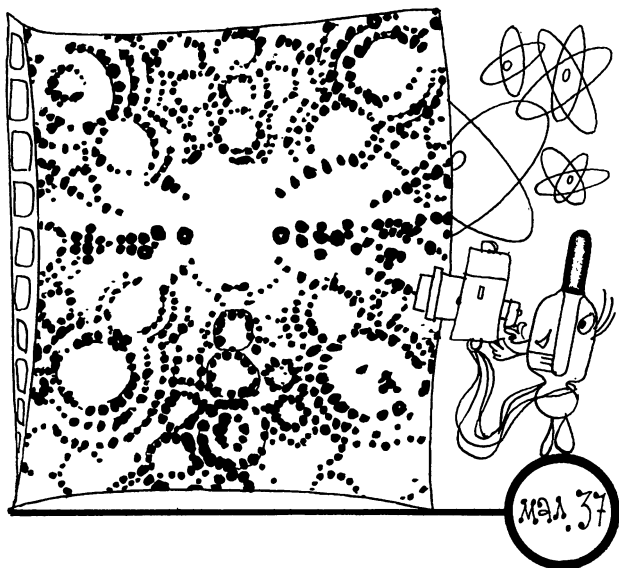
Великі кристали можна побачити неозброєним оком. Для вивчення дрібніших у сучасних лабораторіях використовуються різноманітні, іноді дуже складні прилади. Так, у більшості навчальних і дослідницьких лабораторій застосовується металографічний мікроскоп (мал. 36). За його допомогою зображення кристалів збільшують у кілька сот і навіть тисячу разів. У тих випадках, коли необхідно дослідити ще менші кристали, розміри яких не становлять і тисячної частки міліметра, доводиться застосовувати складніший прилад — електронний мікроскоп. Він дає зображення, збільшене у 10 або й



25 тисяч разів (найкращі електронні мікроскопи — у кілька сот тисяч разів).

На фотографіях, одержаних за допомогою електронного мікроскопа, кристалики металів за своїм зовнішнім виглядом нагадують ... хмарочоси.

Проте ні електронний, ні звичайний оптичний мікроскоп не дають змоги безпосередньо виявляти розміщення атомів у кристалі. Для тугоплавких металів, таких, як вольфрам, молібден, платина, ніобій, останнім часом почали застосовувати метод іонних проекторів, який дає можливість діставати на екрані, схожому на телевізійний, зображення



окремих атомів мікроскопічних кристаликів. Наприклад, можна дістати фотографію розміщення атомів вольфраму (мал. 37), відстань між суміжними атомами в якому порядку сто мільйонних часток сантиметра.

Можна ще точніше визначити відстань між атомами та їх розташування у кристалі за допомогою рентгенівського проміння. Рентгенограми дають змогу розрахувати відстань між шарами атомів всередині кристала і таким чином створити просту модель внутрішньої будови металу.

Будова кристалів

Наприкінці минулого століття російський учений Євграф Степанович Федоров (1853—1919) теоретично вивів геометричні закони будови кристалів. Він довів, що у природі може існувати всього 230 різних за будовою груп кристалів і описав геометричні ознаки кожної групи.

Ідеальним називають такий кристал, у якому на однакових відстанях у будь-якому напрямі розміщені однакові атоми або групи атомів. Отже, розміщення атомів в ідеальному кристалі характеризується строгою періодичністю. Така періодичність будови кристалів зумовлює їхню однорідність, якщо під однорідністю розуміти однакові властивості різних кусків тієї самої речовини. Проте властивості кристалів великою мірою залежать від того, як кристал розміщений відносно напрямку дії зовнішніх сил, зовнішнього електричного або магнітного поля. На мал. 33 зображено сильно збільшену модель внутрішньої будови кристалів альфа-заліза. Кожна кулька зображує атом заліза. Точніше, слід вважати, що кулька являє собою іон, тобто атом, позбавлений одного або кількох електронів. Електрони, які відокремились, вільно рухаються у проміжках між іонами і своїм колективним впливом цементують усі позитивні іони, які без цього мали б розлетітися в усі боки під дією сил взаємного електричного відштовхування.

Кристали металів утворюються при твердінні їхніх розплавів. Звичайно утворюються дрібні кристалики, тому що після охолодження розплаву одночасно утворюється їх велика кількість, і в процесі росту кристали змикаються. Проте при цьому не утворюється один великий кристал, бо всі вони

по-різному орієнтовані в просторі. Домішки й забруднення, рівномірно розподілені у розплавленому металі, після затвердіння значною мірою збираються на поверхні кристаликів, які ростуть. Тому в затверділому металі біля меж окремих зерен утворюються прошарки, в яких значно більше домішок, ніж в основній масі металу. Властивості всіх металів дуже залежать від їхньої чистоти. Щоб мати можливість вивчати властивості металічних кристалів і вплив прошарків, а також суміжних кристаликів, розроблено способи виготовлення поодиноких, іноді дуже великих кристалів, які часто називають монокристалами. Виникненню і росту кристалів, а також їх різноманітним перетворенням у твердому стані нині приділяється велика увага.

Метали на службі в людини

Метали відомі людині дуже давно. Ще в сиву давнину з металу кували мечі й сокири, виливали дзвони й карбували монети. Ми, напевне, ніколи не дізнаємося, коли саме і як почалося використання людиною металів, як давно наш одягнутий у шкіри кмітливий предок виготовив першу металеву річ. Але є серйозні підстави гадати, що людству зовсім несподівану велику послугу зробив космос, пославши на землю залізний метеорит. Першими металами, що їх почала використовувати людина, були золото, мідь і олово. У цьому немає нічого дивного: вони іноді траплялись, так би мовити, у чистому вигляді, а обробляти їх не становило особливих труднощів. Виготовлення найпростіших знарядь і прикрас із золота, міді, олова та їх сплавів дало можливість первісним металургам нагромадити певний досвід у цій новій для них галузі. Можливо,

що свідками падіння на Землю залізного метеорита виявились люди, які вже володіли початковими знаннями у галузі металургії. Вони, очевидно, звернули увагу на те, що розпечений «небесний камінь» був м'яким, а згодом, охолонувши, несподівано ставав значно твердішим за золото й мідь.

Читач може здивуватись: чому першою сировиною для первісної «залізообробної» промисловості було саме метеоритне залізо? Є свідчення того, що залізні вироби з'явилися в людей ще до того, як вони навчились добувати цей метал з руди. Звідки ж тоді вони його брали?

Підраховано, що на нашу планету щороку випадають тисячі тонн метеоритів, які складаються майже повністю з чистого заліза. Його досить легко можна обробити, і стародавні металурги змогли б виготовити з «небесного каменя» деякі вироби.

Припущення про те, що людина вперше виготовила якесь знаряддя саме з метеоритного заліза, зовсім несподівано дістало підтвердження в працях вчених, досить далеких від металургії, — філологів і фольклористів. Учені-фольклористи знайшли в народному епосі — легендах, оповіданнях, билинах різних народів — розповіді про залізо, послане людиною з неба. Більше того, у деяких стародавніх мовах слово «залізо» перекладається як «небесна руда» чи «небесний метал». Так, у стародавньому Єгипті його називали «беніпет», тобто небесний метал. Шумери називали його «ан-бар», що означало те саме, а стародавні греки — «сідерос», тобто зоряний.

І все-таки тривалий час застосування металів було незначним. Житла будували з дерева й каменю, плавали на дерев'яних кораблях, через ріки перекидалися дерев'яні й кам'яні мости. Землю орали дерев'яною сохою. Але з кінця XVIII ст.

потреби людей в металах починають різко зростати і сьогодні світове виробництво металів виражається тисячами, мільйонами і навіть мільярдами тонн.

Широкі простори нашої Батьківщини покриті густою сіткою *залізниць*, по яких потужні *сталеві* електровози ведуть довгі ешелони поїздів. По ріках і морях плавають *металеві* пароплави, по незлічених дорогах рухаються мільйони *металевих* автомобілів різних марок. Високо в небі літають, виблискуючи на сонці сріблястим *металом*, швидкокрилі літаки. Красивими дугами зависли над річками *металеві* мости.

Пройдемоь цехами будь-якого сучасного машинобудівного заводу. Мимоволі звертаємо увагу на те, як багато в них *металу*. Майже все, що є в цехах, виготовлено з *металу*. Ось перед нами вишикувались довгими шеренгами верстати: токарні, фрезерні, шліфувальні, стругальні, свердлильні тощо. Усі вони виготовлені з *металу*. І обробляються на них *металеві* деталі — з чавуну, сталі, бронзи, алюмінію.

Заглянемо на електростанцію. *Металеві* турбіни обертають *металеві* генератори і в їхніх мідних обмотках збуджується електричний струм. Через *металеві* трансформатори й вимикачі електричний струм по *металевих* проводах подається на фабрики й заводи, де приводить у рух тисячі верстатів, нагріває електричні печі, в яких плавиться сталь, освітлює будинки й вулиці. Без *металу* не вироблялася б електрична енергія.

Прикладів використання металів у різних галузях народного господарства можна навести безліч. Адже метал — основний матеріал сучасної техніки. Та широке використання металів далось людям нелегко. Багато праці було затрачено на те, щоб оволодіти мистецтвом обробки металів, вивчити їхні властивості й особливості. Тернистим шляхом йшло людство до пізнання властивостей металів. Багато було помилок, неправильних теорій.

Цікаві метали

А тепер давайте завітаємо в хімічну лабораторію заводу й поцікавимося, які існують метали та скільки їх. Хімік, безперечно, підведе нас до підвішеної на стіні великої періодичної таблиці елементів Д. І. Менделєєва, де зазначено хімічні елементи, з яких складаються всі речовини світу. Їх не так вже й багато — всього лише 107. З них 19 елементів у природі не знайдено — їх створено штучно.

З усіх елементів таблиці 79 є металами. Багато з них вам, очевидно, невідомі. Чи знаєте ви, наприклад, про такі метали, як рутеній, рубідій, цезій, тантал, радій, індій? Мабуть, ніколи про деякі з них навіть і не чули. Розповімо про кілька цікавих металів.

Чи знаєте ви, що є метали, добовий видобуток яких обчислюється грамами? Ідеться про осмій, що його відкрив у 1803 р. англійський хімік Теннант Смітсон. З того часу у всьому світі одержано якихось дві-три тонни осмію. Отже, річний видобуток цього металу в жодній країні тоннами не обчислюється. У кращому разі — кілограмами.

А чи знаєте ви, що робить авторучки «вічними»? Осмій. Мікродози його сплаву з іридієм не дають списатися ні кінчику пера, ні кульці. Завдяки осмію «вічними» є довгограючі голки радіол, деталі годинникових механізмів, які не піддаються стиранню, голки для циркулів, медичні інструменти тощо. Надтвердим сплавам на основі осмію не треба шукати собі роботи. Був би метал. А яка жаростійкість! Три тисячі градусів за Цельсієм не вистачить, щоб розплавити цей метал. Мінімальні домішки осмію надають сплавам не тільки особливої стійкості, а й таких якостей, як пластичність, змочуваність тощо.

Не менш чудові властивості має титан — метал надзвукових швидкостей, метал двадцятого століття, метал майбутнього. Назву металові німецький хімік Мартін Клапрот обрав зовсім випадково, за модою того часу — з міфології. Йому, очевидно, подобалися титани — боги з людським обличчям, що «відали всім на світі». Найбільш відомого з титанів — Прометея — люди і понині шанують за його легендарну самопожертву. Ось ім'ям цих стародавніх мешканців землі — титанів — і було названо новий метал. Він всюди, він входить до першої десятки найбільш поширених на землі елементів.

Титан є в кристалічних гірських породах, у пісках і глинах долин і пляжів, на Сонці й зірках, у морській воді і у воді річок, у сирій нафті й бавовнику, в організмі тварин і людини.

Титан вдвічі легший за сталь і залізо і дуже стійкий. Золото, срібло, платина незворушні, інертні у кислотах і лугах, у розчинах солей і потоках газів. Але суміш азотної й сірчаної кислот — так звана «царська горілка» — розчиняє золото. Титан же при звичайній температурі не розчиняється ні в хлорній воді, ні в суміші азотної й сірчаної кислот. У вакуумі кадмій, цинк, магнієві сплави закипають і випаровуються, багато інших металів також втрачають свої початкові властивості. Не змінюються лише сталь, титан, вольфрам і платина. Усі ці властивості в поєднанні з високою стійкістю проти корозії і відсутністю магнітних властивостей зробили титан металом надзвукових швидкостей, конструкційним матеріалом космосу. У жовтні 1969 р. радянські космонавти Г. С. Шонін і В. М. Кубасов успішно провели експерименти по різанню і зварюванню титану в космосі. Його сріблястими плитами облицьовано пам'ятник першопрохідцю космосу, встановлений біля ВДНГ у Москві. Наявність титану

на Місяці, планетах сонячної системи дає змогу вже не фантастам, а вченим прогнозувати розвиток космічної металургії.

Але й на Землі титанові роботи вистачає. У глибинах океану і надрах землі, у харчовій індустрії і в медицині, у гальванотехніці — та хіба можна перелічити всі галузі його застосування. Як вважають спеціалісти, треба лише добре знати всі його властивості.

Одним з найважливіших металів ХХ століття стає берилій. Це один з найлегших металів, водночас характеризується значною міцністю — більшою, ніж у конструкційних сталей. Крім цього, він має вищу температуру плавлення, ніж магній і алюміній. Завдяки такому вдалому поєднанню властивостей берилій використовується як один з основних авіаційних матеріалів. Деталі літака, виготовлені з берилію, у півтора рази легші від алюмінієвих.

Чудова теплопровідність, висока питома теплоємність і жаростійкість дають можливість використовувати берилій і його сполуки у космічній техніці як теплозахисний матеріал. За повідомленнями американської преси, саме з берилію виготовлялись носовий корпус і днище кабіни деяких космічних кораблів США.

Широко застосовуються в авіації сплави міді з берилієм — берилієві бронзи. З них виготовляють багато виробів, які мають бути надзвичайно міцними, високостійкими проти втоми й корозії, зберігати пружність у значному інтервалі температур та мати високу електро- і теплопровідність. Підраховано, що в сучасному великому літаку понад тисячу деталей виготовлено з цих сплавів. Завдяки своїм пружним властивостям берилієва бронза є чудовим матеріалом для виготовлення пружин. Пружини з неї практично

не знають втоми: вони здатні витримувати до 20 мільйонів циклів навантаження.

До речі, саме з пружинами пов'язано цікавий епізод з часів другої світової війни. Гітлерівська промисловість була відрізана від основних джерел берилієвої сировини. Світове добування цього важливого стратегічного металу практично повністю перебувало в руках США. І гітлерівці пішли на хитрість. Вони вирішили використати нейтральну Швейцарію для контрабандного завезення берилієвої бронзи: американські фірми дістали від швейцарських «годинників» замовлення на таку її кількість, якої вистачило б на годинникові пружини всьому світові років на п'ятсот, якщо не більше. Хитрість, звичайно, була розгадана. Але час від часу в найновіших моделях швидкострільних авіаційних кулеметів, які надходили на озброєння фашистської армії, з'являлися пружини з берилієвої бронзи.

Двічі відкритий

Відкриття багатьох металів має цікаву історію. Візьмемо хоч би відкриття алюмінію.

Дивна природа людини. Сьогодні вона може захоплюватися тим, до чого завтра буде зовсім байдужою. І це здебільшого зумовлюється тим, що предмет захоплення втрачає чарівність недоступності. Так сталося із алюмінієм. Сто років тому він оцінювався дорожче за золото. З нього виготовляли брошки й персні, прикрашаючи їх дорогоцінним камінням. Модниці вищого світу франтували в алюмінієвих коштовностях. Лише члени імператорських родин користувались на банкетах алюмінієвими ложками та виделками. Решта вельмож змушена була задовольнитись... золотими й срібними.

Можливо, техніка розвивалася б дещо інакше, коли б не один трагічний випадок, що стався, за свідченням стародавнього римського історика Плінія Старшого, близько двох тисяч років тому.

Одного разу римський імператор Тіберій дістав як подарунок сріблястий келих (кольорова вклейка XI). Нічого визначного в ньому не було, якщо не враховувати надзвичайно малої маси. Майстер розповів, що невідомий досі метал він дістав з глини і може виготовити ще й не такі речі. Це повідомлення дуже вразило Тіберія. Він зміркував, що новий метал може призвести до знецінення золота його казни, і вирішив, так би мовити, «закрити» це відкриття. Він наказав відрубати винахідникові голову, а майстерню знести з лиця землі. З тих пір про алюміній нічого не було чути. Лише в 1825 р. датський вчений Ерстед оголосив світові про те, що йому вдалося дістати «шматок металу, який кольором і блиском схожий на олово».

Спочатку алюмінію добували дуже мало і тому не дивно, що понад століття тому відвідувачі всесвітньої виставки в Парижі серед коштовностей з цікавістю розглядали «срібло з глини» — так називали тоді алюміній. Але ось наприкінці XIX ст. було відкрито нові способи добування алюмінію з глинозему, і виробництво його різко зросло. Засмучені таким поворотом справ ювеліри швидко охололи до цього металу, незважаючи на всі його чудові якості. Зате ним зацікавились інженери. Справді, алюміній в 2,5 раза легший від заліза, має чудову пластичність, що дає змогу витягувати з нього дротину, тоншу від людської волосини.

З кожним роком алюміній завойовує одну галузь промисловості за другою. Сьогодні налічуються тисячі найменувань різних виробів з нього. Останнім

часом і будівельники зацікавилися легким металом. Значно поширились будівельні панелі типу «сендвіч». Вони складаються з двох алюмінієвих листів, між якими міститься ізоляційний метал. Така панель у двадцять разів легша за залізобетонну.

Чисті й надчисті метали

Кожний з добре відомих нам металів — залізо, мідь, алюміній, олово, свинець, ртуть — складаються з одного елемента. Такі метали прийнято називати простими металами. Іноді їх називають чистими. Але така назва не зовсім правильна: цілком чистих металів у природі немає, і тому краще говорити не «чисте залізо», а «просте залізо».

Найчистіше залізо, яке вдавалося дістати в лабораторних умовах, містить 0,01 % різних домішок, це 1/10 000 частина металу, тобто один атом домішок припадає на десять тисяч атомів основного металу (для спрощення вважаємо, що основний метал і домішки мають однакову густину). А тепер давайте обчислимо, скільки ж атомів домішок міститься в одному грамі цього найчистішого заліза. В одному грамі заліза є близько 10 000 000 000 000 000 000 000 = 10^{22} атомів. А атомів домішок в 10 000 разів менше, тобто 1 000 000 000 000 000 000 = 10^{18} атомів. Ось вам і найчистіше залізо!

Металурги мають звичку по-своєму оцінювати чистоту металів: за кількістю дев'яток. Кажуть, наприклад: алюміній чотири дев'ятки. Що це значить? Це означає, що в такому алюмінії міститься 99,99 % алюмінію і 0,01 % домішок. З великими труднощами до нашого часу хіміки й металурги перейшли на п'ять дев'яток і навчилися одержувати прості метали чистотою 99,999 %.

Між тим бурхливий розвиток ряду нових галузей науки, промисловості і техніки все наполегливіше диктує: потрібні чисті й надчисті метали. Сучасний літак чи газову турбіну, ракету або океанський лайнер не можна побудувати без особливо чистих металів та їхніх сплавів. Радіоелектроніка та атомна енергетика, промисловість напівпровідників — всюди потрібні надзвичайно чисті метали, коли на мільйон або навіть на мільярд атомів основної речовини припадає лише один атом домішки. Для атомних реакторів, наприклад, потрібні конструкційні матеріали такої чистоти, в яких частка сторонніх домішок становила б менше ніж одну мільйонну частину процента.

Особливо високі вимоги щодо чистоти матеріалів ставлять квантова електроніка і виробництво напівпровідників. Зокрема метали, які вводять до напівпровідникових матеріалів (індій, галій, сурма); очищають так, що домішкових атомів у них менше ніж 0,0001 %. Самі ж напівпровідники, в основному германій і кремній, очищають до фантастичного показника — 0,00 000 0001 % або 99,999999999 % чистоти. Якщо зібрати всі атоми домішок з одного кілограма такого чистого германію до купи, то утворилася б пилинка розміром всього кілька мікрометрів ($1 \text{ мкм} = 0,000001 \text{ м}$) Її можна побачити лише в мікроскоп. Напівпровідниковій техніці потрібний германій, який містить не більш як 10 атомів домішок інших елементів в одному кубічному сантиметрі, тобто приблизно не більш як 1 г на 10 тисяч тонн германію. До чистоти кремнію ставляться ще вищі вимоги. Так, у кремнії може міститися не більше ніж 1 г домішок на 10 млн. тонн кремнію.

Тепер можна уявити, які вимоги ставляться до чистоти приміщень, де виробляють такі речовини.

У них допускається поява тільки однієї пилинки, розміром не більш як 5 мкм на 10 см² робочої поверхні протягом 6 годин. Така пилінка має масу меншу від однієї мільйонної частки міліграма, тоді як у кожному літрі повітря в звичайних умовах міститься 2—3 мг пилу, тобто воно майже в 1 000 000 разів брудніше за атмосферу, яка потрібна на виробництві особливо чистого германію. Тому повітря, що надходить у лабораторії, ретельно фільтрують.

Потреба в чистих металах, життєво необхідних для розвитку сучасної науки і техніки, безперервно збільшується. Так, для напівпровідникової техніки, крім згаданих елементів, потрібні надзвичайно чисті сурма, індій, галій, алюміній, цинк тощо.

До речі, на Всесвітній виставці в Брюсселі, що відбулася в 1958 р., радянська надчиста сурма була визнана найкращою в світі і затверджена як світовий еталон. Цю почесну місію вона успішно виконує й досі.

У чому секрет твердості загартованої сталі?

Сталь у незагартованому або, як кажуть, у сирому стані має невисоку твердість і добре обробляється всіма металорізальними інструментами. Але досить сталь нагріти до певної температури і потім швидко охолодити, як вона стає дуже твердою і вже нею можна різати інші метали. Але хімічний склад сталі не змінюється. Кількість вуглецю та інших елементів у сталі залишається такою самою, як і до нагрівання. Що ж тоді відбувається із сталлю після нагрівання й охолодження? Чому так різко змінюються властивості сталі, в той час як її хімічний

склад залишається незмінним? Виявляється, що при термічній обробці змінюється внутрішня будова сталі — її структура.

Від нагрівання та охолодження деяких металів (залізо, олово, кобальт, талій, цирконій, уран) різко змінюються їх властивості, як тільки температура досягне певного для кожного з цих металів значення. При цих температурах відбувається перебудова кристалів, розміщення атомів всередині кристала докорінно змінюються, що спричиняє різку зміну всіх властивостей металів. Так, наприклад, атоми заліза, як ми вже бачили, розміщені у вершинах і в центрі кубика, який є основною структурною одиницею цього кристала. Внаслідок нагрівання заліза до 910 °С перебудовуються його кристали: α -залізо (див. мал. 33) перетворюється в γ -залізо (див. мал. 34), у якого атоми розміщені у вершинах і в центрах кожної групи кубиків.

Зміна кристалічної будови спричиняє зміну властивостей заліза. Так, густина γ -заліза більша за густину α -заліза. Тому, незважаючи на нагрівання, у момент перетворення α -заліза в γ -залізо об'єм металу зменшується, виріб дещо стискується. Але найважливіша зміна властивостей полягає в тому, що в γ -залізі може розчинитися значно більше вуглецю, ніж в α -залізі. В α -залізі вуглецю може розчинитися не більш як 0,04 %, а в γ -залізі його розчиняється до 1,7 %. Термічна обробка сталі і ґрунтується на перетворенні α -заліза в γ -залізо і на різній розчинності в ньому вуглецю. Надмірна кількість вуглецю, опинившись у кристалічній решітці α -заліза, зумовлює в ній багаточисленні спотворення. Ці спотворення кристалічної решітки α -заліза, які ведуть до зміни кристалічної будови сталі, надають їй високої твердості і високої крихкості.

Таємниця булату

Опрацювання людством способів виробництва і обробки металів розпочалося дуже давно. Нелегким був цей шлях. Тому й не дивно, що навколо методів виробництва і обробки металів склалися казки й легенди, висловлювалися домисли, що обробляти метали людей навчили боги. Цікаво нагадати, що єдиним «трудівником» серед байдикуючих богів різних релігій був бог-коваль: Гефест — у греків, Вулкан — у римлян, Сварог — у слав'ян тощо. Так, за старогрецькими міфами серед олімпійських богів, які бездумно витрачали свій час на нічим не виправдане втручання в справи людей, Гефест становив прийнятний виняток. Це був дивний бог. Наспів випивши пляшечку нектару і закусивши амброзією, божественний коваль, шкутильгаючи, поспішав у свою майстерню на острові Лемнос. Засукавши рукава, він брав важкий молот і в поті чола свого з натхненням виконував чудові речі (кольорова вклейка XII). Руками Гефеста були виготовлені знаряддя, якими користувались його олімпійські колеги: блискавки і щит Зевса, колісниця сонячного бога Геліуса, тризубець Посейдона, лук Аполлона. Одночасно Гефест був основним поставальником незламної зброї для олімпійських богів та деяких вибраних смертних. Саме руками Гефеста було виковано кинджал богині помсти Немезиди і зброя для грізного Ахілла, героя Троянської війни.

Навіть у наші дні, коли йдеться про високоякісну холодну зброю: кинджали, шаблі, шпаги тощо, ми обов'язково підкреслюємо, що це булатна зброя. Булат — високоякісна сталь. Перші відомості про булат дійшли до нас від учасників походів Олександра Македонського в Індію — 2300 років

тому. За їх розповідями, мечами індусів можна було рубати каміння і розсікати у повітрі легкі шовкові тканини. І це закономірно. Саме стародавній Схід є батьківщиною металургії. Він же став колискою виготовлення зброї. Знамениті-булатні клинки почали свій шлях з країн Індостану, Арабського Сходу, Середньої Азії. Високо цінувалися шаблі Персії.

Але найбільш знаменитим містом, де виготовлялися й продавалися клинки, був, звичайно, Дамаск. Краса оздоблення і довговічність, надзвичайна гнучкість, висока міцність мечів з Дамаска увійшли в поговорки. Ще Арістотель згадував про дамаські клинки, які виготовлялися з булату. Знайомство європейців з булатом почалося в епоху римського володарювання — близько 2000 років тому. Пізніше славу булатної зброї рознесли купці, які купували її в Дамаску і розвозили по багатьох країнах. З початку III ст. спосіб кування дамаських мечів поширився в Західній Європі. Булат або дамаск, як його часто називають, є різновидом особливо твердої сталі, яка має велику пружність і в'язкість. При оцінці булата враховувався насамперед колір металу. Вищі сорти мають дуже темний колір, нижчі — світлий. Під косими променями високоякісний булат має червонувато-золотистий подиск.

Булатні клинки й досі привертають увагу відвідувачів музеїв як наочні свідчення високого металургійного мистецтва стародавніх людей. Ці булатні клинки були водночас і твердими, і напрочуд пружними. Ними можна було з одного удару розрубати сталюну кольчугу — і ніяких зазубрин на клинку не залишалось. Булатний клинок можна було зігнути в дугу — і він не ламався. Великий російський металург і основоположник металознавства К. Д. Чернов писав, що, коли він пра-

цював у Ермітажі, йому показали толедський клинок, виготовлений у 1840 р. Ця шпага пролежала складеною у вигляді вісімки понад 60 років, і коли її витягли з футляра, то вона зовсім не втратила початкової прямоти.

Булатному клинкові удавалося надавати особливої гостроти. Для перевірки цього було придумане особливе випробування: булатний клинок мав розрізати надвоє клаптик особливо тонкої «газової» тканини, який повільно падав на клинок під дією сили тяжіння. Можливо, ви читали роман Вальтера Скотта «Талісман» і пригадуєте опис змагання в спритності між султаном Саладіном і англійським королем Річардом Левове Серце. Під час змагання Річард своїм мечем розрубав на дві частини списа одного з рицарів — усі бачили високу міцність сталі і страшну силу удару короля (кольорова вклейка XIII). У відповідь Саладін підкинув у повітря тонке покривало і розітнув його своєю шаблею — чудовий доказ гостроти клинка і спритності воїна. Клинок султана був булатний. Це одна з багатьох легенд, які розповідають про чудові властивості булату.

У XVIII—XIX століттях великою славою користувалася кавказька зброя. Місцеві зброярі знали секрети булату, їхня зброя була чудовою за художнім оздобленням. На весь світ прославилась зброя майстра Кубачі, у Вірменії жили й працювали знамениті брати-зброярі Ісді-Қардаш, у Грузії — Ефрем і Кармахан Єлізаровшілі, у Дагестані творив сталеві блискавки старий кумик Басалай. Широко відомі вироби кинджального майстра Магомета Муртазалієва. А клинки з клеймом «вовк» і «гурда» в наш час стали музейною рідкістю.

Своїм мистецтвом славились і майстри Олонця, Тули, Златоуста. Є відомості, що в Росії знали мистецтво виготовлення булату, але наприкінці

XVII ст. це мистецтво, очевидно, занепало, а згодом і зовсім забулося. Нікому пізніше не вдавалося дістати хоча б щось подібне до стародавнього булату. Незважаючи на зникнення секрету, інтерес людей до булатної сталі не знижувався. У минулому столітті вчені багатьох країн намагались розгадати таємницю булату. Серед них був і знаменитий англійський фізик Майкл Фарадей, який пробував дістати булат, додаючи до сталі алюмінію і платини. Було затрачено великі зусилля. Навколо стародавнього булату складались байки й легенди. Думали, що булат — це сталь, облагороджена домішками дорогоцінних металів: срібла й платини. Висловлювались припущення, що при виробництві булату стародавнім майстрам допомагало чаклунство, східна магія, потойбічні сили...

Таємниця булатної сталі була розкрита відомим уральським металургом Златоустівського металургійного заводу Павлом Петровичем Аносовим у першій половині минулого століття. Вісім років він наполегливо працював разом із сталеварами, ковалями й термістами Златоуста. Вони провели сотні дослідів. Поступово Аносов з'ясував, що ніякого срібла, платини чи якихось інших речовин для одержання булату не потрібно, що за своїм складом булат — це звичайна сталь з великим вмістом вуглецю (близько 1,3 — 1,5 %), незвичайні в ній лише умови виплавки, кування й загартування. Одержані Аносовим булатні клинки нічим не поступалися стародавнім — дамаським. Цими клинками рубали цвяхи і кістки, не пошкоджуючи леза, і водночас легко розсікали в повітрі газову тканину.

Таємниця булата була розгадана.

Сила й слава сплавів

Давайте ще раз поглянемо на періодичну таблицю елементів Менделєєва. Ми вже згадували, що з усіх елементів 79 є металами. Але дивна річ, чому ми не бачимо в таблиці таких звичних, добре знайомих нам металів, як сталь і чавун, дюралюміній і бронза, латунь і бабіт? У чому справа? Якщо ми звернемося із запитаннями до хіміка, то він нам скаже, що сталь і чавун, а також бронза і латунь — не метали, а металеві сплави і складаються з двох основних елементів: заліза й вуглецю, які, звичайно, у таблиці є. Бронзи — також сплави. Є олов'яні бронзи, тобто сплави міді з оловом; є алюмінієві бронзи — сплави міді з алюмінієм. Є й свинцеві бронзи — сплави міді з свинцем.

У повсякденному житті й на виробництві дуже часто ми маємо справу із сплавами. Існують десятки тисяч сплавів. Кожен рік, кожен місяць створюються все нові й нові сплави. Чому ж у техніці застосовують значно частіше сплави, ніж прості метали? Можливо, сплави легше дістати? Це так: зовсім чисті метали одержати значно важче, ніж їх сплави. Але це не основне. Справа в тому, що сплави у багатьох випадках кращі за чисті метали.

Сплави міцніші за метали, з яких вони складаються. Чисте залізо має малу міцність, а чистий вуглець тим більше, а ось їхній сплав — дуже міцний. Це сталь. Мідь не дуже міцний метал, а цинк тим більше, одержаний сплав — латунь — має досить значну міцність. Міцність сплавів, як і інші їхні властивості, можна змінювати, регулювати. Існує лише одне залізо, а різних марок сталей з різними властивостями сотні й тисячі. Одні марки сталей міцні і в'язкі; з них виготовляють котли, мости, ферми тощо. З твердіших і міцніших марок

сталей виготовляють рейки, вали, вісі. Ще твердіші й міцніші пружинні сталі, а з найтвердіших і найміцніших марок сталей виготовляють інструменти.

Ми знаємо лише одну мідь, а різних марок бронз і латуней з різноманітними властивостями — величезна кількість.

Сплави мають ще ряд важливих переваг над чистими металами. Температура плавлення сплавів нижча від температури плавлення основного металу, який входить до сплаву. Наприклад, розплавити чавун значно простіше, ніж чисте залізо, тому що чавун плавиться при температурі близько 1200 °С, а залізо при температурі 1535 °С, тобто на 335 °С вищій. Мідь плавиться при температурі 1083 °С, а її сплав — латунь — при температурі близько 900 °С, тобто нижче майже на 200 °С. І вилівок з латуні чи чавуну зробити простіше, ніж з чистої міді чи заліза. Крім того, сплави краще заповнюють ливарну форму. Тому в ливарному виробництві використовуються виключно сплави, а не чисті метали. Багатьом сплавам притаманні такі властивості, яких немає в чистих металів. Для прикладу розглянемо *бабіт* — сплав для підшипників ковзання.

Відразу ж, як тільки почали будувати залізницю, виникла потреба в матеріалі, який би мав малий коефіцієнт тертя і зміг би витримувати величезні навантаження. У втулках з такого матеріалу і повинні були обертатися вісі вагонів і паровозів. У 1839 р. невдовзі після винайдення паровоза, англієць Баббіт взяв патент на сплав, в якому було 92 % олова, 4,5 % сурми і 3,5 % міді. Тонесенькі прокладки з цього сплаву, вставлені у втулки коліс, давали можливість вісям швидко й легко обертатися, витримувати великі, небачені раніше навантаження. Так з'явився підшипник ковзання, а слово «бабіт» нині відоме кожному водієві, тому що колін-

частий вал автомобільного двигуна обертається в підшипниках ковзання, тобто в бабітових вкладках. А чому б не виготовляти вкладку не з бабіту, а з одного з тих чистих металів, які входять до складу бабіту,— з чистого олова, чистого свинцю, чистої сурми чи міді? А тому, що така вкладка майже відразу ж зітреться. А от коли ці чисті метали сплавити і одержаним бабітом залити підшипник, то він працюватиме багато тисяч годин і не зітреться. Стійкість проти стирання у сплавів завжди вища, ніж у чистих металів. Навіть у срібні монети добавляється мідь, щоб вони менше зношувалися й стиралися.

Багато сплавів можна піддати термічній обробці, щоб змінити їхні властивості. Сталь, наприклад, можна загартовувати, швидко охолоджуючи її у воді після нагрівання до високої температури. Якщо після загартування сталь нагріти до нижчої температури — відпустити її, то вона стає дуже міцною й твердою. А чисте залізо як не загартовуй, воно не стане від цього твердішим. Стальні пружини після загартування й відпускання стають в кілька разів пружнішими і можуть витримати в кілька разів більші зусилля. Пружину з чистого заліза скільки не загартовуй, вона не стане від цього пружнішою. Загартовувати можна й інші сплави: чавуни, деякі сорти бронз і латуней, багато алюмінієвих сплавів.

Отже, сплави мають не тільки кращі якості від чистих металів, а й можуть їх змінювати в результаті зміни їх хімічного складу чи термічної обробки. У цьому основна цінність сплавів і причина їх широкого застосування в техніці.

Найпершим сплавом, з яким мала справу людина, була бронза. Без перебільшення можна сказати, що історія бронзи — це історія цивілізації. До нас не дійшло ім'я людини, яка вперше сполучила на вогні

дев'ять частин міді і одну — олова. Мабуть, це сталося випадково, коли в жар багаття потрапили два кусочки різної руди. До цього людина задовольняла свої потреби самородковою міддю, з якої вона каменем виковувала потрібні їй речі. Лише міф доніс до нас ім'я Дедала, батька Ікара, легендарного старогрецького будівельника і художника, піонера столярної справи, винахідника клею. Винайдення бронзи приписують також йому.

Час, коли залізо було ще невідомим і зброю та кухонні речі виготовляли з бронзи, назвали бронзовим віком. П'ять тисячоліть минуло з тих пір. Нерідко під час розкопок учені знаходять разом з золотими і срібними намистинами немало мідних і бронзових прикрас. Очевидно, спочатку вони вважалися не менш цінними виробами, ніж золоті. З часом, коли бронзи почали добувати багато, вона міцно увійшла в побут народу. Так, у стародавньому Єгипті майже весь домашній посуд був бронзовий. У Римі тексти законів були відлиті на трьох тисячах бронзових плит.

Перші статуї з бронзи почали відливати на острові Самос у шостому віці до нашої ери. Старогрецькі статуї, що дійшли до нас, покриті шарами окислів різного складу. Якщо це рівний блискучий шар, то його називають патіна. Шар патини не порушує форми й обрисів предмета, добре охороняє від дальшої корозії. Патина має різне забарвлення, але переважає зелене, часто малахітове. Буває також патина коричневого, синього й іншого кольору. Виникає патина під впливом вологи, вуглекислого та інших газів атмосфери.

Але на сучасних міських пам'ятниках чудова антична голубувато-зелена патина змінилась на малопривабливий чорний колір. У всьому світі зараз працюють над проблемою, як зберегти бронзові

скульптури. Вихлопні гази автомобільних двигунів і заводський дим псують твори мистецтва.

Значення металевих сплавів у техніці величезне. Причому потреба в них дедалі зростає, і конструктори безперервно ставлять перед технологами завдання одержати сплави з новими фізичними властивостями, іноді досить екзотичними.

Ми знаємо, що звичайний чавун крихкий. Між тим учені у всьому світі намагаються дістати не тільки пластичний чавун, а й надпластичні сталі й чавуни. Перші досліді по одержанню значного ефекта надпластичності на багатьох сталях і чавунах були невдалими. Японські дослідники для сірого чавуну добились видовження зразка лише на 40 %. Значно більших успіхів досягли французькі учені в дослідях по деформації сталених зразків: ефект надпластичності привів до видовження зразка на 400—500 %. Радянські вчені дістали надпластичний білий чавун: при температурі 700 °С видовження чавунних зразків становило 150 %.

Спеціалісти англійської фірми «Сьюперформ металз» в результаті багаторічних пошуків опрацювали новий сплав на основі алюмінію — *сьюпрал*, який має чудове поєднання фізичних властивостей. Цей матеріал зберігає всі якості металу — високу електропровідність, теплопровідність, блиск, водночас сплав характеризується дивовижною пластичністю. Брусок із сьюпралу вже після незначного нагрівання можна розтягти в довжину в десять разів. З цього «гумового» сплаву можна формувати вироби найхимерніших конфігурацій, для цього придатний весь широкий арсенал технології формування пластмас під тиском. Спеціалісти не сумніваються в тому, що новий сплав незабаром широко застосовуватиметься в техніці.

Сплав «пригадує»

Порівняно недавно вчені виявили, що деякі сплави здатні «запам'ятовувати» надану їм форму і відновлювати її у відповідних умовах (кольорова вклейка XIV). Родовід сплавів з «пам'яттю» починається сплавом, який складається з майже однакових кількостей нікелю і титану. Цей сплав, названий *нітинолом*, був відкритий у 1960 р.

А трапилося це так. Одного разу, досліджуючи властивості нового сплаву, вчені зробили з нітинолового дроту спіраль, нагріли її до 150 °С і охолодили. Потім до спіралі підвісили тягар, який розтягнув її. Не знімаючи тягаря, дослідники почали нагрівати дротину знову. Коли температура досягла 95 °С, дріт почав скручуватися в спіраль, піднімаючи тягар. Так було відкрито ефект «механічної пам'яті» нітинолу, який навіть під навантаженням відновлював задану йому форму спіралі. Незабаром феноменальну властивість «механічної пам'яті» було відкрито у сплавів на основі заліза, нікелю, кобальту, міді, золота тощо.

І хоч механізм «механічної пам'яті» ще остаточно не з'ясовано, учені вже запропонували кілька галузей практичного застосування сплавів нітинолового типу. Так, з цих сплавів можна виготовляти антени для штучних супутників Землі. Під час виходу на орбіту така антена в згорнутому стані притиснута до корпусу супутника. На орбіті, зігріта променями Сонця, вона розгортається. На основі використання нітинолу і подібних до нього сплавів можна створити надійний сигналізатор пожежної небезпеки. Основним елементом у такому пристрої буде дротина із сплаву, яка від нагрівання змінюватиме форму і вмикатиме електричний струм у системі сигналізації. При монтажних роботах, коли необхідно

закріпити деталі в недоступному для інструментів місці, із «запам'ятовуючих» сплавів можна виготовляти шплінти, що самі розгинатимуться.

А нещодавно американським інженерам удалось побудувати двигун, в якому застосовується ефект «механічної пам'яті сплавів». Основа двигуна — колесо із спицями з нітинолу, які є прямими в гарячому стані і зігнутими — у холодному. Коли спицю занурюють у ванну з теплою водою, то вона випрямляється і штовхає колесо. Відразу ж вона потрапляє у холодну воду і згинається, а на її місце в теплу ванну надходить нова зігнута спиця. Для роботи двигуна достатньо різниці температур 23 °С — це так мало, що ніяка інша машина при такій різниці температур не працюватиме. Автори винаходу вважають, що цей дивний двигун допоможе у використанні енергії, що її має вода, яка охолоджує атомні електростанції.

Прецизійні сплави

Останнім часом у техніці особливу увагу приділяють виготовленню деталей з прецизійних сплавів, тобто таких, які повинні мати дуже точний хімічний склад. Зокрема, працюють над створенням сплавів, які б майже не реагували на зміни температури.

Протягом останнього десятиріччя вчені Інституту прецизійних сплавів створили цілу групу сплавів, про технічне використання яких у недалекому минулому вчені і не мріяли. Наприклад, багато років метал і скло ворогували в одній конструкції. Нагріваючись, метал розширювався, і скло тріскалось. «Помирили» їх прецизійні сплави. На їх основі Московський завод «Хроматрон» налагодив

випуск кольорових металевоскляних кінескопів — надійних і довговічних.

Без прецизійних сплавів не можуть обійтися творці джерел магнітних полів і конструктори побутових холодильників, хірурги й годинникарі. Загляньте в свій годинник. Пружина в них на вигляд не відрізняється від тієї, яка була в перших годинниках. Але до годинникової і хвилинної стрілок добавилася й секундна, з'явився календар, що відраховує дні й місяці. А годинники не збільшилися у розмірах, навпаки, вони стали меншими, хід їх — точнішим. «Секрет» — у новому сплаві, з якого виготовлена пружина і волосок, що підтримують рівномірний хід годинника. Новий сплав зробив пружину годинника у буквальному розумінні слова вічною. Вона не ржавіє, не змінює своєї пружності внаслідок коливань температури, не злипається в магнітному полі.

З прецизійних сплавів можна виготовити надзвичайно сильні постійні магніти, справжні геркулеси. Візьмеш у руки по такому магніту, зведеш їх до купи різнойменними полюсами і через силу відірвеш їх один від одного.

З платиноїридієвих сплавів виготовляють жаростійкі тиглі, які переносять сильне нагрівання в агресивних середовищах; у таких тиглях, зокрема, вирощують чудо-кристали для лазерної техніки. З пошаною ставляться до платиноїридієвих сплавів і ювеліри: вони охоче виготовляють з них красиві вироби, які користуються великим попитом. Деталі хімічної апаратури і найточніших приладів, електроконтакти, хірургічні інструменти, пружини, лабораторний посуд — ось далеко не повний перелік використання сплавів платини з іридієм.

Кілька років тому з цих сплавів почали виготовляти затискачі електродів електричних стимуляторів

діяльності серця. Електроди вживляються в серце людини, яка хворіє на стенокардію, у тіло хворого вміщують і мініатюрний приймач, приєднаний до електродів і до генератора з кільцевою антенною, яка закріплюється на тілі людини поряд з приймачем (генератор можна помістити, наприклад, у кишені костюма). Як тільки починається приступ стенокардії, хворий вмикає генератор. Імпульси, що надходять у кільцеву антену, передаються в приймач, з нього — на електроди, а потім через платиноіридієві затискачі — на нерви, які змушують серце працювати активніше.

Таким чином, над створенням нових сплавів люди вогняної професії — металурги — працюють не тільки в співдружності з машинобудівниками, спеціалістами електронної техніки, а й з медиками. Уже створюються металеві суглоби, кістки, якими хірурги замінують пошкоджені чи хворі, виліковуючи, здавалося б, невиліковні хвороби. Для виготовлення штучних кісток учені підібрали сплав на кобальтово-хромонікелевій основі. З нього, крім штучних суглобів, виготовляють пружинні каркаси серцевих клапанів, скріпки для зшивання кровоносних судин.

Якість сплаву визначається не лише точністю й чистотою компонентів, які входять до його складу, але й особливою технологією його одержання. В лабораторіях Інституту прецизійних сплавів працюють невидимі електромагнітні поля, вакуум, інертні гази, воднева плазма. Вони не тільки плавлять, а й зберігають чистоту ніобію і ванадію, ренію і цирконію, платини й іридію та багатьох інших рідкісних металів, які стали обов'язковими компонентами сучасних прецизійних сплавів.

Ми добре знаємо, що всі метали при нагріванні розширюються, а при охолодженні стискаються.

Ця фізична закономірність здається непорушною. Але ось нещодавно вчені винайшли сплав нікелю з алюмінієм, який поводить ся навпаки. Чому? Поки що ніхто пояснити цього не може. Завдяки такій властивості сплав використовується для ремонту трубопроводів у тих місцях, де недопустиме зварювання і взагалі будь-яке полум'я: на складах кіноплівки, паперу, вибухових речовин. Із сплаву виготовляють муфту, охолоджують її рідким азотом, одягають на пошкоджену частину труби. Після того як труба нагріється до кімнатної температури, вона стискається і дуже міцно закриває отвір.

Як дістають сплави?

Донедавна спосіб одержання сплавів змішуванням компонентів у рідкому вигляді був одним з основних.

Для прикладу розглянемо, як дістають листи й виливки з латуні. З мідних руд на заводах кольорової металургії дістають мідь, а з цинкових руд — цинк. Зливки міді й зливки цинку надходять до ливарних цехів. У плавильних печах розплавляють мідь, добавляють у розплавлену мідь потрібну кількість цинку, старанно перемішують і одержану латунь або виливають у виливниці, дістаючи виливки латуні, які прокатуються у долати чи в листи на прокатних станах, або ж відливають у форми і дістають готові виливки. Таким же способом дістають майже всі сплави кольорових металів.

Деталі і заготовки виготовляють також металокерамічним способом з металевих порошоків. Металеві порошки дістають розмелюванням у кульових чи вихрових млинах металів, одержаних звичайним способом з рідкого розплаву. А в деяких випад-

ках порошки дістають безпосередньо з руди в твердому стані, обминаючи рідкий.

Уся схема одержання деталей і заготовок цим способом складається з чотирьох основних процесів: одержання порошка; змішування порошоків у потрібному співвідношенні; надання порції суміші порошоків форми заготовки або деталі (формовка) і, нарешті, спікання при високих температурах, менших, проте, за температуру плавлення основного компонента.

В яких же випадках застосовується металокерамічний спосіб виготовлення деталей і заготовок?

Температура плавлення деяких металів настільки висока, що розплавити їх важко. Так, температура плавлення вольфраму становить 3410 °С, танталу 3000 °С, молібдену 2620 °С, ніобію 2415 °С. Тому окисли цих металів подрібнюють у твердому стані — дістають порошки, а з них — заготовки, наприклад, вольфрамові, які потім кують, протягують і дістають дуже тонку вольфрамову дротину, а з неї виготовляють нитки електричних лампочок. Металокерамічним способом виготовляють пластинки з твердих сплавів для ріжучих інструментів. Металокерамічним способом можна дістати сплави з компонентів, які не сплавляються між собою: вольфраму і міді, вольфраму і срібла, заліза й свинцю і багатьох інших. Порошки цих металів можна змішувати в будь-яких пропорціях.

Металокерамічним способом дістають деталі із сплавів металів з неметалевими речовинами, наприклад, міднографітові щітки для колекторних електричних машин, електричні контакти із срібла з оксидом кадмію, фрикційні диски для автомобілів, які складаються з міді, заліза, азбесту й графіту.

Металокерамічним способом дістають пористі деталі: металокерамічні фільтри для фільтрування

гарячих рідин, лопаті газових турбін, чавунні постійні форми з дуже високою газопроникністю.

І, нарешті, металокерамічний спосіб виявився дуже корисним для одержання деталей з прецизійних сплавів. Адже при плавленні неминуче відбувається угар, причому нерівномірний. Одні компоненти вигоряють більше, інші — менше. Розрахувати нерівномірний угар дуже складно. А при металокерамічному способі ніякого угару не відбувається, і хімічний склад виробу дуже точний, без побічних речовин.

Ну, а як бути, коли треба дістати сплав з металів, один з яких плавиться при такій температурі, при якій другий уже кипить, і коли вони не дають міцних з'єднань в результаті прокатування? Коли метали не можуть співіснувати у рідкому стані, як, наприклад, вольфрам (температура плавлення 3410 °С) з марганцем (температура кипіння 2150 °С), важко уявити собі приготування сплаву цих металів традиційними методами. Радянські вчені розробили оригінальну «вибухову» технологію: порошки марганцю й вольфраму змішують, насипають в ампулу, розігрівають за рахунок стискання при вибусі, розплавляють і утворюють новий сплав.

Або візьмемо приготування сплаву з нітриду алюмінію і нітриду бору. Перший починає розкладатися, ще не досягнувши температури плавлення, а між тим вона майже на тисячу градусів нижча за температуру плавлення другого. Здавалося б, приготування сплаву неможливе. І знову вихід підказує вибухова технологія.

Кожний новий метал, який «вплітається» в інший метал силою вибуху, відкриває широкі можливості. Міцні з'єднання сталі з алюмінієм, нікелем і міддю, гібриди із срібла й молібдену сьогодні вже не новина: вони використовуються на виробництві.

А нещодавно вдалося з'єднати сталь із сріблом. Вибух зіткнув метали. За тисячні частини секунди вони встигли розплавитися в найтоншому шарі і знову затвердіти.

Якщо металокерамічні способи одержання сплавів потребують цілого ряду високотемпературних процесів і унікального пресового обладнання, то для зварювання вибухом ні багаторазових пресувань, ні спікання не потрібно.

Учені всього світу невтомно працюють над пошуками нових способів одержання сплавів. Розповімо ще про один спосіб одержання сплавів, опрацьований радянськими вченими.

Дуже часто не можна виготовити сплав з найбільш бажаних компонентів. І здебільшого перешкодою в цьому є велика різниця в температурах плавлення й густинах вихідних металів. Чим більша ця різниця, тим важче об'єднати їх в щось монолітно ціле. Припустимо, треба виготовити сплав алюмінію із свинцем. Це був би хороший матеріал для легких підшипників. Але розплав цих металів, скільки б ми його не перемішували, неминуче розшарується за густиною. Проте, коли б нам навіть удалось якимось способом подолати цю трудність, то залишилася б ще одна — незмочуваність металів у рідкому стані.

Ми добре знаємо, що жир не розчиняється навіть у кип'ятку. Так от щось подібне відбувається і з молекулами розплавлених металів, які не змочують один одного. Скільки хитрощів було придумано металознавцями, хіміками, ливарниками, щоб подолати, хоча б на час перемішування, взаємне ворогування складових суміші, з якої хочуть дістати сплав. Пробували, наприклад, один з металів розтирати в порошок, щоб потім кожну порошинку старанно покрити тонкою плівкою з іншого металу.

Вводили в розплав спеціальні поверхнево-активні речовини, сподіваючись цим самим добитись виникнення взаємного притягання рухливих молекул-антагоністів. Але жодна з цих спроб не мала успіху. При розплавленні металів «обман» обов'язково викривався і молекули-індивідуалісти металів хутко розбігались в протилежні сторони, ніби футболісти двох команд перед початком матчу.

Багато років учені наполегливо шукали способи примирення молекул-антагоністів. Ідея розв'язання прийшла досить несподівано. Спостерігаючи одного разу за охолодженням у тиглі розплавленого металу, учені звернули увагу на те, що коли проткнути поверхню розплавленого металу сталевим стержем і потім витягти стержень назад, то на стержень, ніби кисіль на дерев'яну ложку, налипає розплавлений метал. З цього почалося відкриття явища кристалізаційного прилипання — *адгезії*. Було встановлено один дуже цікавий факт. Виявилось, що в процесі охолодження розплаву сили взаємного притягання центрів кристалізації, що починають зароджуватися при охолодженні, швидко зростають. Іншими словами, ледь з'явившись на світ, малесенькі кристали проявляють велику ненажерливість. Більше того, маленькі ненажери проявляють при цьому дивовижну невибагливість — вони ладні скористатися для формування свого тіла будь-якою речовиною, навіть такою, яка не має ніякого відношення до розплавленого металу і при цьому незмочуваність металів не відіграє в певний період охолодження ніякої ролі. Якщо ж цей період прогавити і дати можливість розплаву трохи охолонути, то буде вже пізно. Одержана кристалічна решітка «втратить будь-який інтерес» до навколишнього середовища. Таким чином, для одержання того чи іншого сплаву з незмочуваних металів

треба встановити той інтервал температур, в якому домішки до основного металу можуть брати активну участь у формуванні кристалічної решітки.

Так було розроблено метод одержання сполук, які стали називатись «композиційними дисперсними сплавами». Уже одержано дивовижний сплав алюмінію з графітом. В легкий і міцний алюміній вкраплюють зерна пластичного графіту. Оскільки графіт є чудовим мастилом, то навіть незначна домішка (всього 1,5 %) його до алюмінію дає змогу дістати рівноцінну заміну дуже дефіцитним бабітам та іншим антифрикційним сплавам. З алюмінієво-графітових сплавів почали виготовляти підшипники ковзання для різноманітних двигунів. Алюмінієво-графітові сплави поступово замінюють бронзу при виготовленні таких деталей, як шестерні, втулки тощо.

Ще більш чудові властивості має композиційно-дисперсійний сплав «дісульфід молібдена-графіт». Деталям, виготовленим з цього сплаву, як кажуть, не буде зносу навіть при роботі в умовах особливо великих сил тертя.

Деревний сплав

Якщо про металеві сплави ви, напевно, чули, то про сплави з деревини навряд. А між тим такі сплави виготовляються.

Нині немає такої сфери людської діяльності, де б не використовувалась деревина. Це призводить до істотного скорочення площі лісів. Тому на порядок денний винесено питання про максимальне використання так званої неділової деревини — трісок, опилок, низькоякісного лісу. Дедалі ширше розгортається вироблення деревностружкових і

деревноволокнистих плит, промислова переробка сучкою і бурелому, які раніше вважалися відходами. Усе це дає змогу виготовляти з них сировину для різних будівельних матеріалів.

Так сплав деревини і цементу — чудовий будівельний матеріал — *арболіт*. Він не боїться ні морозу, ні спеки; будинки з нього пройшли суворі випробування в Антарктиді. З відходів деревообробної промисловості — кори — створено короліт. Був час, коли кору просто спалювали. У Центральному науково-дослідному інституті механічної переробки деревини в Архангельську було запропоновано подрібнювати її, просочувати мінеральними солями і за допомогою вібрації, утрамбовувати в форми. Одержаний будівельний матеріал надзвичайно дешевий і має високі теплоізоляційні властивості. У Північному науково-дослідному інституті лісової промисловості, у Архангельську застосовується фізична властивість снігу при таненні і вібрації перегрупувати свої кристали. Ледь підігрітим снігом з домішками опилок пропонується покривати дороги. Виявилося, що таке шосе витримує машини будь-якої вантажопідйомності і в суворих умовах Крайньої Півночі може працювати круглий рік. В Інституті деревини Академії наук Латвійської РСР розроблено метод одержання основного компонента пінопласту з опилок. Новий матеріал нагадує пінопласт і має унікальні теплоізоляційні властивості.

При переробленні сучків та інших відходів лісової промисловості навчилися діставати дуже потрібний промисловості і медицині продукт — фурфурол.

Наша країна має величезні запаси лісових ресурсів. Чим більше деревини споживає народне господарство, тим більше залишається відходів від неї, що є цінною промисловою сировиною.

Плавлення кристалів

Місця атомів у кристалічній решітці постійні, але всі атоми зазнають безперервних теплових коливань. З підігріванням кристалу коливання зростають, але це спостерігається лише до певної межі — до температури плавлення. До досягнення температури плавлення розмах коливань атомів зростає внаслідок нагрівання, відстань між ними збільшується і сили зчеплення між атомами слабшають. Це веде до того, що деякі атоми вже не можуть займати рівноважного положення у вузлах решітки, починають «вириватися» зі своїх місць і переходити в простір між вузлами решітки. Чим вища температура кристалу, тим більше атомів «виривається» з решітки. При досягненні температури плавлення сили зчеплення між атомами настільки слабшають, що процес «виривання» атомів набуває масового характеру. Це означає руйнування кристалічної решітки — речовина плавиться.

Характерною особливістю процесу плавлення кристалічної речовини є сталість температури під час плавлення до того моменту, поки вона повністю не розплавиться, тобто поки повністю не розпадеться кристалічна решітка. Цим плавлення кристалічної речовини істотно відрізняється від плавлення аморфної речовини, наприклад, морозива, асфальту чи воску. Тверде морозиво в теплих руках поступово стає м'якшим, поки, нарешті, не перетвориться в рідину.

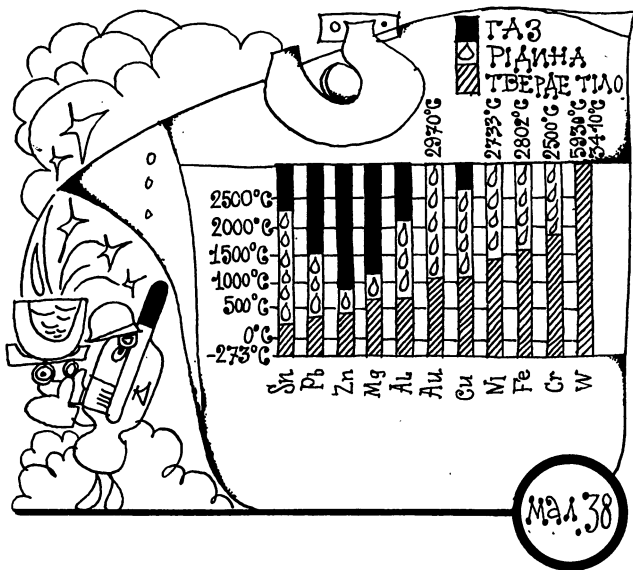
Більш-менш точно вказати температуру, при якій аморфне тіло плавиться, не можна — існує певний інтервал температур, в якому аморфне тіло розм'якшується. Для кожного кристалічного тіла існує цілком певна температура плавлення, і поки тіло не розплавиться повністю, його температура не змі-

нюється. Після розплавлення температура розплаву знову підвищується внаслідок нагрівання тіла. Чим же пояснити, що незважаючи на нагрівання кристалічного тіла і збільшення його внутрішньої енергії, температура кристалічного тіла до його повного розплавлення залишається сталою?

Пояснюється сталість температури тим, що у процесі плавлення збільшується лише потенціальна енергія атомів, яка визначається їх взаємним розміщенням. Кінетична ж енергія не зростає, оскільки при температурі плавлення вона вже досягла свого максимального значення, достатнього для того, щоб атоми змогли подолати діючі між ними сили зчеплення і залишити свої місця у вузлах решітки. Та оскільки температура тіла визначається кінетичною енергією руху його атомів, то зрозуміло, що під час плавлення температура кристалічного тіла не повинна змінюватися.

Сили взаємодії між атомами чи молекулами в кристалічних решітках різних металів далеко не однакові, а тому не однаковими є й температури плавлення кристалічних тіл. Якщо, наприклад, ртуть плавиться при $-39\text{ }^{\circ}\text{C}$, а цезій — при $29\text{ }^{\circ}\text{C}$, то золото плавиться при $1063\text{ }^{\circ}\text{C}$, а залізо — при $1535\text{ }^{\circ}\text{C}$. Рекордсменами тугоплавкості серед металів є осмій ($2700\text{ }^{\circ}\text{C}$) і вольфрам ($3410\text{ }^{\circ}\text{C}$). Нижче наведено діаграму (мал. 38), з якої видно, в яких широких межах перебувають температури плавлення різних металів.

Розплавлений метал перетворюється у тверду кристалічну речовину, якщо його охолоджувати. При цьому розплав залишається рідким дої, поки його температура не знизиться до температури плавлення. З цього моменту зниження температури припиняється і розплав поступово твердне, тобто кристалізується. Надана йому під час плавлення



енергія, яка пішла на руйнування кристалічної решітки, віддається у процесі кристалізації розплаву. Після закінчення процесу кристалізації тіло, яке стало твердим, продовжує охолоджуватись, поки не набуде температури навколишнього середовища.

Найстаріший спосіб виготовлення металевих виробів

Після того як людство навчилось виплавляти метал, почало розвиватися ливарне виробництво, тобто одержання фасонних виробів (виливок) заливанням форм рідким металом. Уже в V тисячолітті до нашої ери в Месопотамії і Єгипті існувало ливарне

виробництво різноманітних виробів: зброї, прикрас, предметів домашнього вжитку тощо. Розкопки показали, що й на території Кавказу вже в III тисячолітті до нашої ери також застосовувались досконалі методи плавлення і виливання металів. Литво було найлегшим видом обробки металу, і люди скористалися цим.

Цікаво, що принципова схема технологічного процесу литва практично майже не змінилась з найдавніших часів. Ось як пише про це президент АН УРСР Б. Є. Патон: «Як не дивним це здається, але ми сьогодні з усією нашою найновішою металургійною технікою і наукою, по суті, лише повторюємо ті операції, що їх здійснювали наші предки п'ять тисяч років тому. Тодішні металурги не знали фізики, хімії, не мали й гадки про хімічну формулу залізної руди, навряд чи взагалі мали уявлення про природу свого ремесла, проте вони нагрівали залізну руду в багатті й діставали матеріал для виготовлення знарядь праці та війни.

Навряд щоб далекий пращур міг пояснити, що для процесу відновлення оксидів заліза потрібна теплота, що, як і будь-який інший відновний процес, він потребує відновника, але в його багатті було і тепло, і відновник — деревне вугілля.

Нехай «багаттева металургія» давала не залізо, а лише крихкий чавун — сплав заліза з вуглецем. Минуть століття, і чавун почнуть нагрівати у горні разом з кусками залізної руди, щоб дістати ковкий метал — сталь, хоча навряд чи був тоді відомий процес сполучення вуглецю чавуна й кисню руди у вуглекислий газ. Можна лише схилити голову перед майстерністю стародавніх умільців, які не володіли теорією металургійних процесів, але які уміли кувати клинки з неперевершеної дамаської сталі, робити дивовижну вязь кольчуги, міцні панцири і шоломи...»

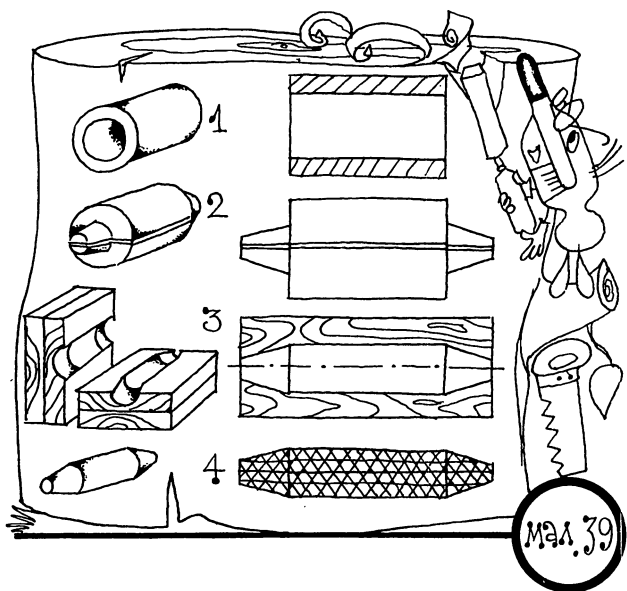
Схема технологічного процесу литва передбачає чотири основні етапи. Перший — виплавка металевого сплаву потрібного складу і перегрівання його до температури, яка забезпечує якісне заповнення форм.

Другий етап — виготовлення форми, яка повинна точніше відповідати виробові, тому що інакше істотно зростуть затрати праці на обробку виливків. Цей етап, мабуть, найбільш важливий, бо необхідно врахувати особливості поведінки металу при заповненні форми, кристалізації й охолодженні. Справа ускладнюється тим, що різні метали поведуться при кристалізації неоднаково. Одні, як наприклад сталь, дають усадку, інші, як чавун, навпаки, розширюються. При цьому усадка залежить від великої кількості факторів, які заздалегідь дуже важко врахувати.

Виготовлення форми передбачає, як відомо, попереднє створення моделі, у розмірах якої враховано особливості тверднення металу, а конструкція повинна забезпечувати легке витягування її з форми.

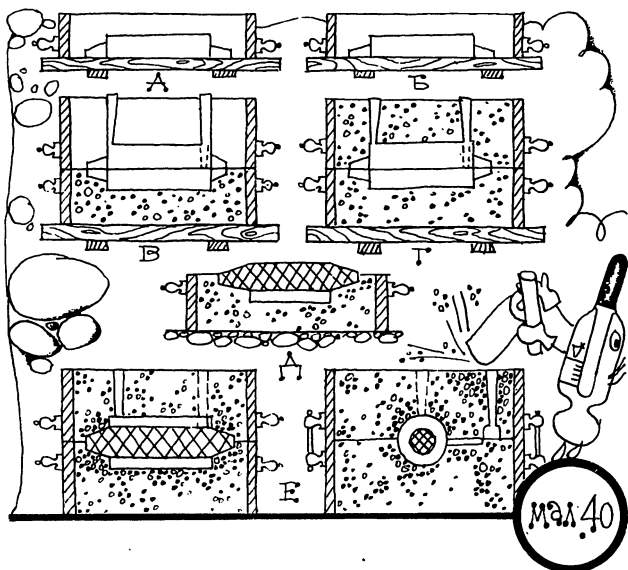
Для прикладу розглянемо виготовлення разової піщано-глиняної форми, яка застосовувалась ще в глибоку давнину. Припустимо, що треба відлити чавунну втулку 1 (мал. 39). За малюнком втулки виготовляють її дерев'яну модель 2 і стержньовий дерев'яний ящик 3. Модель складається з двох половинок і має виступи, в які укладають піщаний стержень 4 для утворення внутрішнього отвору втулки. Стержньовий ящик з порожниною всередині також роблять роз'ємним, щоб було легко витягнути піщаний стержень.

У такий ящик робітник-стерняр щільно набиває піщано-глиняну суміш. Потім ящик розкривають і одержаний стержень обережно переносять у сушильну піч. Коли стержень висохне і стане досить



міцним, його вміщують в ливарну форму, яку виготовляє за дерев'яною моделлю втулки робітник-формувальник.

Процес виготовлення ливарної форми, або формовки, показано на мал. 40. Спочатку (мал. 40, а) формувальник встановлює на підмодельній дерев'яній дошці рамку-опоку і закладає всередину неї одну половину моделі. Простір всередині опоки формувальник заповнює формувальною піщано-глиняною сумішшю і ущільнює її трамбуванням (мал. 40, б). Потім робітник перевертає опоку так, щоб модель виявилася зверху (мал. 40, в) і ставить на неї другу її половину, а також ще



два дерев'яні бруски так, щоб утворились у формі два канали: один для заливання форми металом — ливник, другий для виходу повітря і газів з форми — випор.

Другу половину опоки також заповнюють сумішшю (мал. 40, *г*), ущільнюють її, а потім витягують бруски — моделі ливника і випору. Знявши верхню половину опоки і перевернувши її (мал. 40, *д*), формувальник витягує модель з верхньої половини форми. Він витягує модель із нижньої половини форми і встановлює в ній висушений стержень. Одночасно з цим, формувальник прорізує у формі ливниковий хід, який з'єднає порожнину форми з ливником. Потім формувальник накриває верхньою половиною

форми нижню (мал. 40, е) і скріплює їх між собою або навантажує якимось тягарем зібрану форму. Зібрана форма готова до заливання рідким металом, тобто до здійснення третього етапу схеми процесу лиття.

Чавун розплавляють у печі — вагранці, рідкий метал з вагранки набирають у ківш. Нахилиючи ківш, заливальник спрямовує струмину металу в ливниковий отвір форми. Повітря й газу, які при цьому утворюються, виходять через другий отвір — випор, а також через пори ливарної форми й стержня.

Чавун охолоджується і вилівок набуває потрібної форми. Потім вибивальник руйнує ливарну форму і звільняє вилівок.

Ми розглянули найпростіший спосіб лиття в піщано-глиняну форму. Але всі вилівки, прості й складні, малі й великі виготовляють саме за цим принципом, хоча ливарна форма може бути дуже великою, складатися з кількох частин, а стержні для виготовлення внутрішніх порожнин бувають дуже тонкими й складними.

Розрізняють вісім груп або видів лиття. Перша група — лиття в разові форми, тобто в форми, які використовуються лише для одного заливання. Варіанти такого лиття розрізняються за характером моделей, які виплавляються, випалюються, розчиняються, заморожуються.

Друга група — лиття в напівпостійні форми. Назва говорить сама за себе: форму заливають металом кілька разів. Форми для заливання металом можуть бути із шамоту, глини, цегли, металокераміки, гіпсу, цементу, графіту, каменю.

До третьої групи відносять лиття в металеві форми. Це лиття в кокіль, під тиском, відбілене литво, вібраційне і виливання акумуляторних решіток.

Четверта група — лиття у форми, які обертаються (відцентрове лиття і лиття центрифугуванням).

До п'ятої групи належить лиття наморожуванням на форми: всмоктуванням, зануренням, видавлюванням, витискуванням і лиття вибрикуванням.

Шоста група — лиття в охолоджувальні форми, або напівнеперервне; це виготовлення труб, листів, різних профілів, лиття в охолоджені водою кокілі.

Ви, мабуть, звернули увагу, що досі ми класифікували лиття за тим, як часто використовується форма, з якого матеріалу її виготовляють, яка технологія виливання. Але в техніці доводиться мати справу з виливанням специфічних деталей. Таке лиття виділяють у сьому групу: виливання поршневих кілець, магнітів, радіаторів, дробу, емальоване, армоване лиття; сюди ж відносять друкарське, зубопротезне та ювелірне литво.

І, нарешті, до окремої групи входить виливання неметалевих матеріалів. Це важливий сьогодні спосіб виливання пластмас, литво з каменю, яке часто застосовується для архітектурного оздоблення і скульптурно-художніх цілей, і шлакове литво, яке утилізує металургійні відходи.

Прогресивні види лиття

Протягом останніх років розроблено ряд методів, які дають можливість запроваджувати неперервні процеси в ливарній справі, використовувати нову техніку й технологію, проводяться пошуки способів точного лиття, які дають можливість діставати вилівки, максимально близькі до форми готового виробу. Розглянемо кілька прогресивних видів лиття.

Метод наморожування виник дуже давно. Поля-

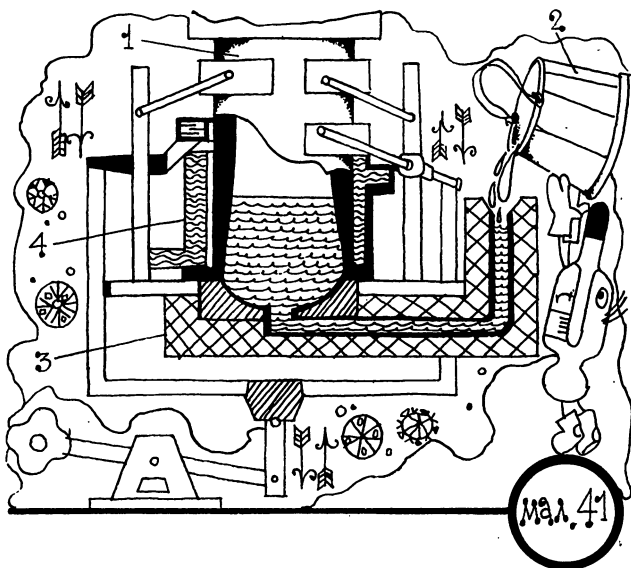
гає він ось у чому. Нехай треба відлити циліндр. У відповідну форму заливають розплавлений метал. Рідкий метал, стикаючись із землею форми, починає кристалізуватися саме на поверхні вилівка, а його серцевина — ще в рідкому стані. Якщо в цей момент з форми вилити рідкий метал, то вилівок матиме форму труби, і надалі для виливання циліндра стержень, який утворює отвір, вже не потрібний. Так відливають втулки, заготовки та інші вироби з кольорових і чорних металів.

Процес заповнювання форми та виливання металу з неї вдосконалюється. Наприклад, метал засмоктується у форму з тигля під дією вакууму. Після певної витримки тиск під металом у формі підвищується і залишок металу зливається назад у тигель.

На поверхні форми залишається намерзлий шар металу певної товщини, тобто виходить потрібний вилівок.

Наморозування — єдиний метод, який дає можливість виготовляти тонкостінні труби з чавуну, покриті всередині шаром корозієстійкої пластмаси. Ці труби з успіхом можуть використовуватись в хімічній промисловості та в інших галузях техніки. Металу для їх виготовлення витрачається небагато. Особливо перспективним є процес неперервного наморозування.

Суть процесу неперервного виливання труб наморозуванням (мал. 41) така. З ковша 2 у сифонну ливникову систему 3 заливається метал, який потрапляє в охолоджуваний водою кристалізатор 4. Намерзлий на його внутрішній поверхні шар металу — це готова труба, причому внутрішній діаметр кристалізатора є зовнішнім діаметром труби, яка наморозується. Усадка металу при кристалізації утворює зазор, який дає можливість пульсуючому



цанговому механізму безперервно витягувати готову трубу вгору. Труба витягується періодично.

Одним з найдосконаліших методів масового виробництва точних і тонкостінних виливків з алюмінієвих, магнієвих, цинкових і мідних сплавів є *виливання під тиском*. Технологія цього виду лиття досить проста. Вона полягає в тому, що розплавлений метал заповнює форму і кристалізується під тиском, більшим за атмосферний, після чого форму розкривають і виймають виливок. Таким способом можна виготовляти складні й тонкостінні деталі, заощаджуючи метал. Умови роботи ливарників, що працюють цим способом значно кращі, ніж тих, що виливають метал іншими способами.

Лиття вакуумним всмоктуванням має таку технологію. Тонкостінна, безперервно охолоджувана водою металева ливарна форма — кристалізатор — занурюється носиком у розплавлений метал. У кристалізаторі створюється розрідження, і рідкий метал всмоктується в його внутрішню порожнину на висоту, яка відповідає довжині виливка. Після затверднення рідкого металу в кристалізаторі утворюється виливок, конфігурація якого визначається профілем його внутрішньої порожнини.

Лиття витискуванням застосовується для виготовлення панельних деталей великих розмірів, але малої товщини. Ще зовсім недавно жодний ливарник не взявся б вилити тонкостінну панельну деталь розміром 15—20 см² і товщиною, не більшою як 1,5—3 мм. А такі деталі вкрай необхідні при виготовленні багатьох машин — легкових і вантажних автомобілів, річкових суден, цистерн, літаків тощо. До недавнього часу деталі виготовляли із суцільних листів або плит, штампуючи їх на дорогих пресах, обробляючи потім на верстатах, вигинаючи й витягуючи на спеціальних машинах. Це було непродуктивно.

Ковалі й штампувальники на своєму потужному і високопродуктивному обладнанні дістають дуже міцний метал, але вони не можуть виготовити деталі із складною внутрішньою конфігурацією. Такі складні деталі виготовляють ливарники.

Іноді конструктори віддають перевагу кованим і штампованим деталям, а іноді вилитим.

Спосіб литва витискуванням охоплює обидва напрями обробки металу. Машини для литва витискуванням складаються з рухомої і нерухомої ступок, які мають конфігурацію внутрішньої і зовнішньої поверхонь майбутніх виливків. Рідкий метал піднімається суцільним потоком по ступках.

У міру того, як рідкий метал піднімається вгору, на обох стулках утворюється шар металу, який охолоджується. Наприкінці витискування виливок вже складається з двох таких шарів металу, які утворюють внутрішню і зовнішню поверхні деталі, та з дуже тонкого прошарку між ними, заповненого металом в «твердо-рідкому» стані. Як тільки стулки остаточно зімкнуться, цей прошарок повністю охолоджується. Утворюється тонкостінний виливок.

Існує і ряд інших прогресивних способів литва, зокрема відцентрове, в оболонкові форми.

Метал добувають бактерії

Геологія вивчає процеси, що відбуваються в землі дуже повільно. Встановлено, що мікроорганізми, діючи тисячоліттями, сприяли виникненню покладів сірки, появи на дні океанів речовин, які містять залізо і марганець. Мимоволі постає питання: якщо мікроби «створили» родовища в далекому минулому, то чи не можна використати цю їхню здатність тепер? Тривалий час вчені вважали, що процеси, в яких беруть участь мікроби, відбуваються надзвичайно повільно й використовувати їх нереально. Проте дослідження останніх років спростували таке уявлення. Порівняно недавно стало очевидним, що зумовлені мікробами біогеохімічні процеси іноді можуть відбуватись настільки швидко, що є цілком реальним їх практичне застосування. Це стосується і хімічних реакцій, які становлять виключний інтерес для металургії. За допомогою мікробів стало можливим діставати різні метали без термічної обробки руди.

На початку ХХ ст. в штаті Юта (США) були закриті мідні рудники: вирішивши, що запаси металу

вже вичерпані, господарі рудників затопили їх водою. А коли через два роки воду відкачали, у шахтах виявилось 12 тисяч тонн міді! Схожий випадок стався і в Мексичі, де з покинутих рудників лише за один рік разом з водою «вичерпали» близько 10 тисяч тонн міді. Звідки ж взялася ця мідь? Ученим удалось знайти відповідь. Виявилось, що серед багаточисленних видів бактерій є й такі, для яких улюбленими «ласощами» є сірчисті сполуки деяких металів.

Оскільки мідь у природі звичайно зв'язана із сіркою, ці бактерії не байдужі до мідних руд. Окислюючи нерозчинні у воді сульфід міді, мікроби перетворюють їх в легкорозчинні сполуки, причому процес відбувається досить швидко. Так, якщо за 400 діб звичайного хімічного окислення з халькопіриту (одного з мідних мінералів) дістають лише 18 % міді, то вже під час перших дослідів за допомогою сіркобактерій за 75 днів удалось вилучити майже 40 % металу. Незабаром було встановлено, що для досягнення найбільш високого ККД бактерій їм треба створити необхідні умови — зробити їх «робочі місця» теплими (25 °С) і темними. Вимоги мікрорудокопів були задоволені, і ті різко підвищили свою продуктивність: для переведення в розчин 80—90 % міді їм вистачило всього лише 35 годин.

Уже зараз бактерії застосовують для добування міді на рудниках США, Мексики, Іспанії, Австралії, Португалії. Мікробіологічними методами за кордоном добувається 5 % усієї міді. Мікробіологічне добування міді проводиться і в Радянському Союзі на ряді рудників Уралу та Казахстану. Кілька років тому на Дегтярському мідному рудникові, що поблизу Свердловська, побудовано промисловий комплекс, в якому «рудокопами» працюють бактерії.

Особливо велику користь бактерії можуть принести на заключній стадії експлуатації рудників: адже у вироблених родовищах звичайно залишається ще від 5 до 20 % руди. Проте добування цих залишків, як правило, є дуже нерентабельною, а іноді й зовсім неможливою справою. А бактерії можуть добратися до найбільш віддалених місць мідних «кладовищ» і підібрати всі крихти руди, яка ще там залишилася (кольорова вклейка XV).

Мікроорганізми можна використовувати і для переробки старих відвалів, які, мов кріпосні вали, оточують багато металургійних підприємств, рудників, збагачувальних фабрик. На мексиканському мідному родовищі Кананса нагромадились величезні відвали породи — близько 40 мільярдів тонн. І хоч вміст в них міді був мізерним (всього 0,2 %), їх пробували кропити водою з шахт, яка потім стікала у підземні резервуари. У кожному літрі цієї води виявилось по 3 грами міді. Небагато? Але не так вже й мало: всього за місяць удалося добути фактично «з нічого» 650 тонн металу.

Мікробіологічні процеси мають велике значення для переробки важкозбагачуваних руд, які містять золото. З їх допомогою «відшукують» тонкі вкраплення золота, які містяться в арсено-піритних концентратах. В результаті кількість вилученого дорогоцінного металу зростає в 9 разів. Найбільш несподіваною виявилась зміна, яка спричиняється мікроорганізмами в самому золоті. За всіма підручниками хімії воно до останнього часу належало до важкоокислюваних металів, які розчиняються лише в суміші соляної і азотної кислоти. Зараз доведено, що ряд культур бактерій і мікроскопічних грибів утворюють органічні речовини, з якими золото дає сполуки. Так культури мікроскопічних грибів стали «золотошукачами».

Дослідження вчених показали, що «смаки» промислових бактерій досить різноманітні.

З допомогою дуже поширених у природі тіонових бактерій можна діставати не лише мідь і марганець, а й цинк, нікель, молібден, кобальт, уран, вісмут. Інші різновиди бактерій допомагають добувати алюміній, залізо, германій, сурму, літій, титан і навіть золото. Собівартість добутих таким способом металів значно нижча (наприклад, міді — в 3—5 разів), ніж одержаних звичайними методами.

Крім того, «мікробна» металургія дає змогу добувати метал з найбіднішої сировини, виділяти із складних концентратів складові елементи, скажімо мідь, цинк, свинець, та вилучати шкідливі домішки.

Канадські вчені, досліджуючи процеси вилуджування уранових руд, додали до розчину деяких видів бактерій. За два місяці мікроорганізми добули з руди 80 % урану. Без їх допомоги за той же час добували урану у 8 разів менше. Тепер у Канаді мікробіологічне вилуджування для добування урану використовується в широких масштабах.

З 1957 р. методом підземного мікробіологічного вилуджування добувають уран у багатьох країнах світу. Цей метод, наприклад, широко застосовують у США, СРСР, Франції, НДР, Японії.

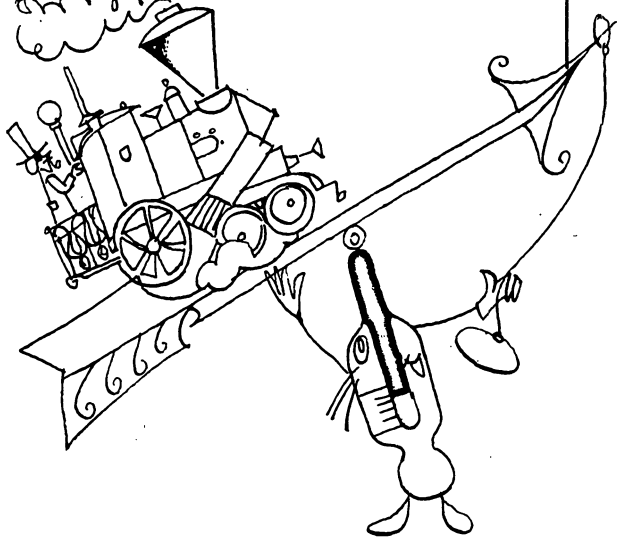
Широким фронтом проводиться дослідження в галузі геомікробіології в Радянському Союзі. Нещодавно вчені інституту мікробіології АН СРСР довели можливість добування бактеріальним вилуджуванням рідкісних металів.

Установлено також, що бактерії, які живуть у гірських породах і підземних водах, за рахунок розчинення гірських порід здатні збагачувати золотом природні розчини й тим самим нагромаджувати значні кількості золота (понад 10 мг на літр розчину).

Биометалургійні процеси дуже перспективні. Уже зараз підземне вилуджування — найдешевший спосіб добування деяких металів: не треба тримати під землею гірників, відпадає потреба в заводах по збагаченню руди, значно зменшується площа землі, яку займають шахти і збагачувальні заводи. Усю цю складну роботу охоче виконують мільярди мікроскопічних «рудокопів».

Існують проекти утворення штучних покладів цінних та рідкісних елементів у морських лагунах або відгороджених ділянках заток. Тут можуть бути сприятливі умови для розвитку морських бактерій — «фахівців» по добуванню елементів, розчинених у морській воді.

ПРО
ТЕПЛОВІ
ДВИГУНИ

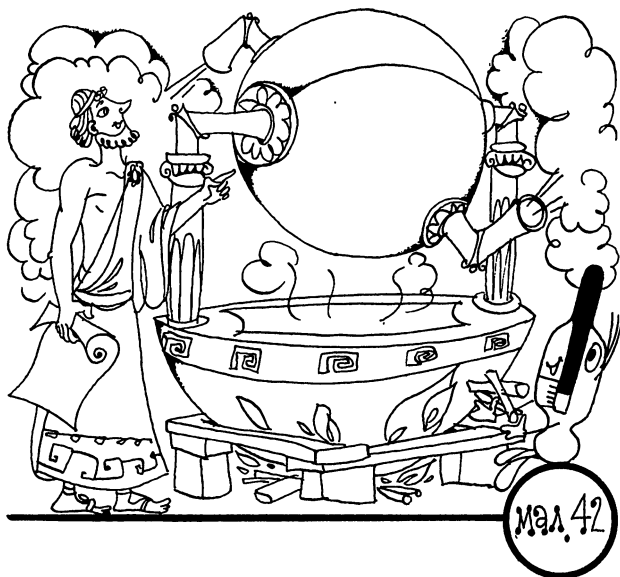


З історії винайдення парової машини

Смілива думка — змусити пару приводити в рух механізми — зародилася дуже давно. Ще в другому столітті до нашої ери старогрецький учений Герон Александрійський створив модель парової машини, яка могла бути прообразом парової турбіни. Модель являла собою котел з водою на металевих ніжках (мал. 42). В середині котла над рівнем води закріплювались два товстих металевих стержні, які піднімалися вгору і були зігнуті під прямим кутом. Вони підтримували металеву кулю. Один стержень — суцільний — упирався гострим кінцем у кулю, а другий — порожниста трубка — входила у кулю збоку. Підперта з обох боків куля могла обертатися навколо уявної лінії, яка сполучала обидві точки опори. Крім того, зверху й знизу в кулю входили ще дві трубки, трохи тонші, також зігнуті під прямим кутом: верхня трубка — спрямована вперед, а нижня — назад.

Якщо під котлом розвести вогонь, то вода кипітиме, і пара по трубці надходитиме в кулю. Як тільки пара почне виходити з тонких зігнутих трубок, куля обертатиметься навколо осі плавно і безперервно. Чим більше пари виходитиме з трубок, тим швидше обертатиметься куля.

Здавалося б, що достатньо зробити такий пристрій більшим, і його можна використовувати для полегшення якоїсь важкої роботи. Наприклад, для розмелювання зерна, підіймання вантажів, приведення в рух суден тощо. Так чому ж не було зроблено такого пристрою? А через те, що рабовласники не були зацікавлені в такій машині. Для чого їм було полегшувати працю? Що ж тоді робитимуть раби? Адже їх так багато. Раби для того й живуть,



щоб виконувати важку роботу. Помре один, будуть інші. А машина може коштувати значно дорожче, ніж раб.

Минуло майже дві тисячі років, і людство знову почало шукати способи приведення в рух механізмів за допомогою пари. Над проектом парового автомобіля замислювався Ісаак Ньютон. Серед творців парової машини — Д. Папен, Т. Север, І. Ползунов, Д. Уатт... В результаті їхніх зусиль у промисловості в XVIII столітті з'являються нові працівники. Це були паровий циліндр Папена і вогнедіючий насос Ньюкомена, машини Ползунова і Уатта. У них працювала пара. Вогнедишний журавель

на відкачуванні води з шахти заміняв 50 коней. З кожним роком паровий двигун вдосконалювався.

Парова машина була першим справді інтернаціональним винаходом. Впровадження нових двигунів у виробництво і транспорт викликало промислову революцію.

Пріоритет у створенні першого в світі універсального двоциліндрового двигуна неперервної дії належить російському теплотехніку Іванові Івановичу Ползунову (1728—1766). Відомий винахідник народився в 1728 р. у щойно заснованому тоді містечку Єкатеринбурзі (нині Свердловськ), навіть ще не в містечку, а в маленькій фортеці, побудованій для захисту невеликого заводу від войовничих набігів башкирів. Батька його в ті краї занесла нелегка солдатська служба, там він і одружився. Згодом батько дослужився до капрала, і, мабуть, це відіграло важливу роль у долі його сина. Хлопця удалося влаштувати в Єкатеринбурзьку арифметичну школу, куди солдатських дітей ні за яких обставин не приймали. У цьому ж містечку він закінчив першу в Росії гірничозаводську школу і поступив на роботу як «механічний учень». Незабаром його запросили на роботу в Барнаул. На сріблоплавильних заводах Алтаю Ползунов будував греблі, займався добуванням руди, конструював різні механізми, відповідав за облік дорогоцінного металу.

У 1758 р. Ползунову доручили супроводжувати обоз, який відправлявся в Петербург. На возах лежало кілька сотень пудів срібла для державної казни. Під час довгої дороги і задумався механік, як вдосконалити допотопний засіб пересування. У столиці Ползунов прожив більш як три місяці. Цей час не пройшов для нього марно: він встиг побувати на багатьох заводах, верфях, у кунсткамері і, звичайно ж, в академічній бібліотеці.



11





IV











IX















XVI



Думка про створення парової машини зовсім нової конструкції прийшла до Ползунова, коли він із захопленням прочитав «Докладне навчання рудної справи». Він відразу ж побачив недоліки вогнедіючого насосу Ньюкомена і зрозумів, як багато можна досягти, коли відмовитися від водяних коліс, які приводили в дію повітродувні міхи плавильних печей, і замість них поставити «вогнем діючу машину». Думка про парову машину не залишала його ні на мить, і він взявся за конструювання технічної новинки. Тепер після роботи він поспішав додому і, наспіх поївши, заглиблювався в розрахунки, брався за креслення. Захопившись роботою, просиджував ночами, не підозрюючи, що сприяє розвитку хвороби. Тривалий, надсадний кашель мучив його дедалі частіше.

Він створював машину, якої ніколи ще не існувало. Основну частину його атмосферної машини становили два циліндри. Поршні в них рухались одночасно в протилежних напрямках, а міхи включались в роботу почергово, тому повітря в піч надходило безперервно. І, що було дуже важливо, рух поршнів передавався без коромисла, як в англійських парових машинах, а за допомогою ланцюгів і шківів. Крім того, у машині Ползунова пара і вода надходили автоматично. Отже, вона була зовсім несхожою на машини попередників.

Ползунов поспішав побудувати машину... Відчував, що дуже хворий, і поспішав. І ось у 1763 р. винахідник створює перший проект «вогняної машини», через два роки — другий варіант. Після успішних випробувань почали споруджувати вже промислову установку. У грудні 1765 р. провели перше випробування і переконались: працює нова машина чудово. Визначили день запуску. Ползунов поспішав, людей підганяв і себе не жалів. І все ж таки

машину пустили вже без нього, всього кілька днів винахідник не дожив до щасливого часу, не побачив свого творіння в праці у заводських умовах.

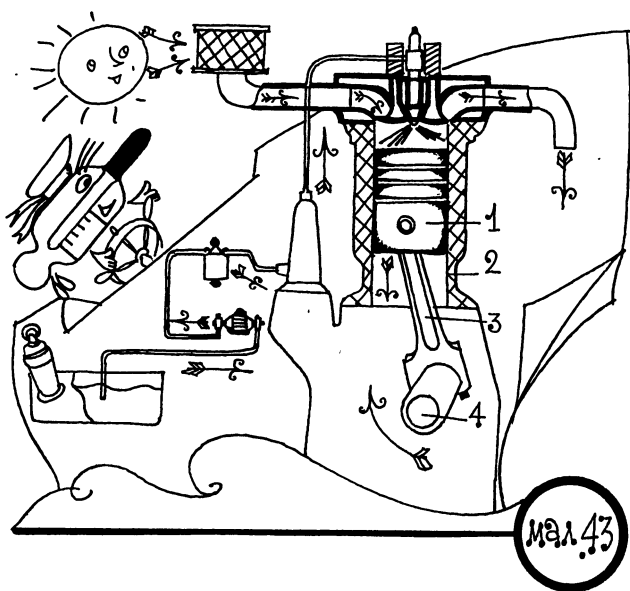
Нова парова машина стала до ладу. Поршні її циліндрів передавали зусилля на загальний вал. Машина приводила в рух повітродувні міхи 15 плавильних печей. За 43 дні роботи вона дала 12 тисяч карбованців прибутку. Але в листопаді 1766 р. в топці перегоріло цегляне склепіння, котел почав текти, вийшли з ладу поршні. І першу парову машину надовго забули. А через 15 років англієць Джеймс Уатт створив нову модель парової машини з шатунно-кривошипним механізмом.

Заслуги великого російського винахідника наш народ зберігає в своїй пам'яті: У Москві в Політехнічному музеї демонструється діюча модель парової машини Ползунова, виготовлена за кресленнями винахідника.

Коротко про дизельний двигун

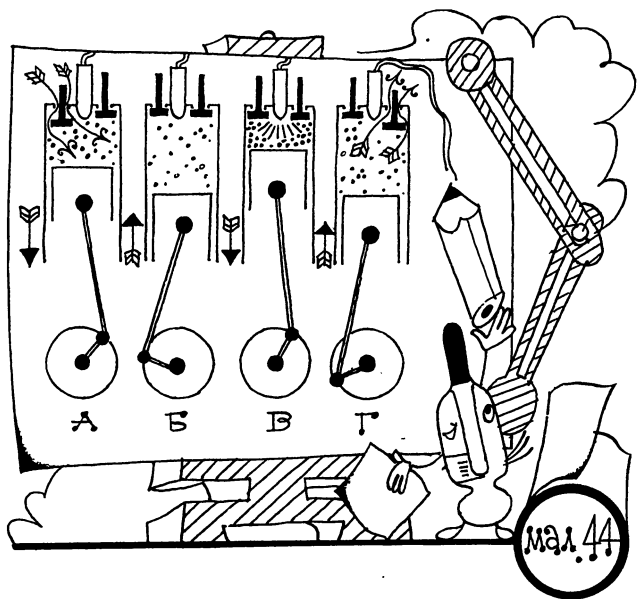
У шкільному підручнику ви читали про найпростіший двигун внутрішнього згоряння. Тепер розглянемо дещо інший, так званий дизельний двигун. Ви, мабуть, пам'ятаєте, що поршень двигуна, переміщаючись у циліндрі, засмоктує суміш пального з повітрям і сильно її стискує. У цей момент між електродами запальної свічки проскакує електрична іскра і запалює робочу суміш, а газу, які утворюються від згоряння суміші, тиснуть на поршень і приводять його в рух.

Конструкція дизельного двигуна мало чим відрізняється від тієї, яку ми розглядали на уроках фізики. У ньому також є циліндр 2, поршень 1, шатун 3, кривошипний вал 4, система змащення



і охолодження (мал. 43). Але якщо в найпростішому двигуні пальна суміш запалюється від електричної іскри, то в дизельному вона загоряється сама, без іскри. Який же принцип роботи дизельного двигуна?

Поршень переміщується, здійснюючи процес всмоктування (мал. 44, а). Але замість пальної суміші засмоктується лише чисте повітря, яке потім дуже сильно стискується (мал. 44, б). Таке сильне стискування потрібне для того, щоб повітря в циліндрі розігрілося до високої температури. Як відомо, газ від стискування завжди нагрівається. Між іншим, можете перевірити це явище самі. Візьміть насос для накачування велосипедних камер і, закривши



вихідний отвір пальцем, попробуйте накачувати повітря. Через певний час (незначний) стінки циліндра стануть теплими. А в циліндрі дизельного двигуна стискування в десятки разів сильніше, ніж у насосі.

Як тільки стискування стане найбільшим, через форсунку в циліндр впорскується порція пального (мал. 44, в), яке змішується з гарячим повітрям, одночасно загоряючись від нього. Робочий хід і хід виштовхування відпрацьованих газів (мал. 44, г) такі самі, як і в звичайному двигуні.

Отже, у дизельному двигуні запалювальну свічку замінює форсунка, а всю систему запалювання — система подачі пального.

Мабуть, у деякого з читачів у зв'язку з цим ви-

никає запитання: для чого виготовляти двигуни із запалюванням від стискання? Адже їх конструкція аж ніяк не простіша, оскільки замість системи запалювання в них є система подачі палива. Крім того, внаслідок дії високих тисків дизельний двигун швидше спрацьовується.

Усе це справді так. Проте паливом для звичайних двигунів є бензин, а для дизельних — так зване солярове масло, яке значно дешевше за бензин. А коли ще врахувати, що зараз для виготовлення дизельних двигунів використовуються високоякісні матеріали, які зношуються повільніше, то переваги їх перед звичайними двигунами стають цілком очевидними.

Дизельні двигуни широко застосовуються у вантажних автомобілях, автобусах, тракторах і навіть у деяких легкових автомобілях.

Новинці — півтора століття

Повсюди невтомно працюють двигуни внутрішнього згорання (ДВЗ), які виробляють близько 80 % світової енергії. Але сьогодні це не тільки радує, а непокоїть людей. Адже продукти згорання пального виділяються в атмосферу, крім того, двигуни створюють багато шуму.

Усе це змушує інженерів і вчених працювати над створенням нових двигунів. З архівів витягуються запилені папки із забутими проектами, які в свій час не витримали конкуренції з ДВЗ через малу економічність.

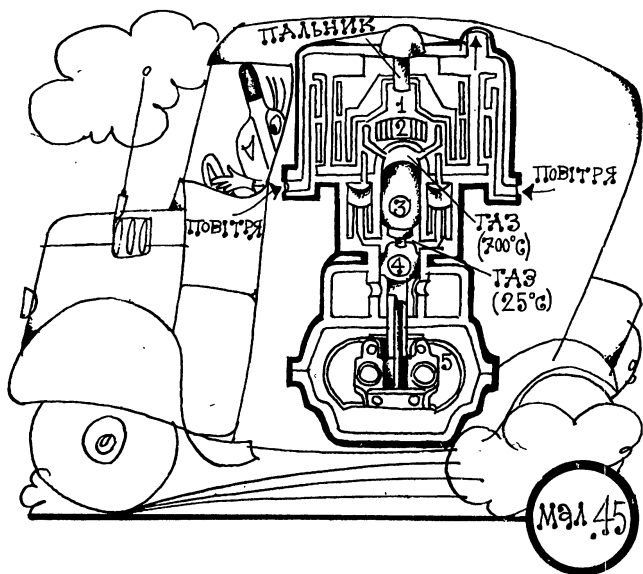
...За півстоліття до Ленуара, який створив перший двигун внутрішнього згорання, автором оригінального винаходу став шотландський священник Роберт Стірлінг. Діюча модель його «двигуна

зовнішнього згоряння» (енергія підводилась до робочого тіла зовні, через нагріту кришку циліндра) була використана ще в 1818 р. для відкачування води з кам'яних кар'єрів. Побудовані в 1885 р. такі двигуни мали ККД 5—7 %, розвивали потужність близько 1,5 кВт, а їхня маса становила близько півтори тонни і займала об'єм 21 м³.

У наші дні згадали про принцип дії двигуна Стірлінга з кількох причин. Насамперед він зовсім безшумний і практично не виробляє отруйних речовин. Крім того, цей двигун — «всеїжний», тобто для роботи можна використовувати будь-яке джерело енергії — сонячні промені, дрова, вугілля, бензин, ядерне паливо, «паливо майбутнього» — водень. Поки що його економічність нижча, ніж ДВЗ. Але в майбутньому, можливо, двигуни Стірлінга перевищать ДВЗ і в цьому відношенні.

Розглянемо принцип роботи двигуна Стірлінга (мал. 45). Спочатку запалюється пальник, у полум'я якого вприскується горюча суміш (розпилене пальне і повітря, що всмоктується зовні). Нагрітий газ у трубах підігрівника розширюється і переміщується в гарячу камеру. Верхній поршень починає рухатися вниз, гонить перед собою холодний газ, що міститься в холодній камері, штовхає нижній поршень.

Максимально стиснутий в компресійній камері газ із силою тисне на нижній поршень, і вся поршнева система повертається до початкового стану. Нагрітий газ переходить назад у холодну камеру, залишаючи 99 % енергії в регенераційних пристроях. Продовжуючи підніматися, нижній поршень гонить цей холодний газ у гарячу камеру, де він знову нагрівається, розширюється, і цикл починається спочатку. Ніяких вибухів не відбувається, жодна молекула газу не залишає замкнутого контуру.



Горіння горючої суміші в двигуні постійне, згорання повне; двигун не забруднює атмосфери. Перевагою двигунів Стірлінга є також ромбоїдальна система приводу, яка замінює кривошип двигуна внутрішнього згорання. Симетричність цієї системи не веде до виникнення вібрацій при будь-якій швидкості обертання. Двигун створює сталий момент сили; шум при повному робочому навантаженні незначний; плавність його роботи можна порівняти з роботою турбіни. Коефіцієнт корисної дії сучасних типів двигунів Стірлінга становить 15 % порівняно з 35—40 % двигуна внутрішнього згорання.

За повідомленням гамбурзького журналу «Шпігель», ККД чотирициліндрових двигунів Стірлінга,

які виготовляються в Ейндховені, буде вищим. Ця фірма побудувала велику кількість одноциліндрових моделей. Двигун потужністю 7,5 кВт працював понад півтора місяця, що відповідає пробігу автомобіля на відстань 192 000 км з швидкістю 160 км на годину. Створюються чотирициліндрові двигуни по 150 кВт. Передбачається, що новий двигун зможе замінити дизельні двигуни на підводних човнах, вантажних машинах, автобусах, суднах. Звичайно, ці двигуни поки що дорожчі за двигун внутрішнього згоряння, але треба врахувати, що це тільки прототипи майбутніх двигунів.

У Радянському Союзі також проводяться роботи по дослідженню робочого процесу і створенню нових конструкцій двигуна Стірлінга.

Про коефіцієнт корисної дії теплових машин

Складним був шлях людства до першої теплової машини. Лише в середині XVIII століття здійснилась давня мрія людини про використання енергії пари для виконання роботи. Як виконується робота в паровій машині? У топці горить паливо. В результаті його згоряння звільняється певна кількість енергії. Вона передається воді, яка нагрівається до кипіння. Утворюється пара. Її спрямовують у циліндр з поршнем. Пара діє на поршень з певною силою. Поршень рухається, долаючи опір, що його чинять зв'язані з ним механізми. Якщо, наприклад, з поршнем парової машини зв'язаний через передавальний механізм підймальний пристрій, то енергія пари здійснює роботу, долаючи тертя в з'єднаннях машини і силу тяжіння вантажу, який піднімається.

Скільки роботи може виконати парова машина? Скільки завгодно. Якщо підтримувати вогонь у топці і своєчасно замінювати зношені внаслідок тертя деталі машини, то можна задовольнити в принципі будь-яку потребу в роботі. Але тут виникає принципово важливе запитання: скільки палива потрібно для виконання певної роботи? Адже паливо — річ відносно дорога. Його треба видобувати, підвезти, завантажити в топку. Крім того, паливо згоряє не повністю, утворюються відходи, які треба періодично прибирати. Усе це потребує затрат праці.

Очевидно, економічно вигідною є така машина, яка при мінімальних затратах праці дає максимально можливу кількість роботи. А яку максимальну роботу можна дістати, затративши певну кількість палива? Питання далеко непросте. Перші парові машини поглинали величезну кількість палива. Тому робота, яку вони виконували, обходилась дорого.

Скільки ж можна дістати роботи, спаливши дану кількість палива? Досвід показує, що в роботу перетворюється лише частина енергії, одержаної при спалюванні палива. Якщо позначити її Q , а кількість виконаної роботи A , то відношення

$\frac{A}{Q}$ дає величину, яка характеризує так званий коефіцієнт корисної дії машини. Коефіцієнт корисної дії сучасних парових машин і турбін становить 6—30 %, автомобільних і авіаційних двигунів внутрішнього згоряння — 30—40 %. Це означає, що з кожної тонни палива 600—700 кг витрачається даремно.

Коли врахувати, яка величезна армія теплових двигунів обслуговує людину і яка кількість палива спалюється ними щодня, то легко зрозуміти, на-

скільки важливою науковою і технічною проблемою є збільшення енергії, що перетворюється двигуном у корисну роботу, або, іншими словами, підвищення ККД двигунів.

У двигуні відбувається ланцюжок перетворень різних видів енергії. Розглянемо, наприклад, перетворення енергії в автомобільному двигуні. Бензин — джерело енергії. Він вприскується в циліндр. Суміш бензину з повітрям (робоча суміш) запалюється електричною іскрою. Відбувається хімічна реакція горіння. Вона супроводжується виділенням великої кількості енергії. Енергія хімічна переходить у внутрішню. Діставши певну кількість енергії, газ у циліндрі розширюється і рухає поршень і зв'язану з ним систему важелів і шестерень, які передають зусилля на ведучі колеса автомобіля. Таким чином, внутрішня енергія перетворюється в кінетичну енергію поступального руху поршня, потім — у кінетичну енергію обертання вала, шестерень і коліс.

При згорянні 1 кг бензину виділяється понад $4,6 \cdot 10^7$ Дж енергії. Коли б уся енергія, що виділяється від згорання бензину, перетворювалась у механічну енергію руху автомобіля!

Зробимо невеликий підрахунок. ККД автомобільних легкових двигунів становить приблизно 30 %. Це означає, що коли залити в бензобак 10 л бензину, то на рух автомобіля витрачається енергія лише 3 л бензину. Куди ж зникає енергія решти 7 л? Насамперед вона витрачається на подолання сил тертя, які неминуче виникають між поршнем і стінками циліндра, між шестернями і в усіх з'єднаннях. Тертя веде, як відомо, до нагрівання двигуна.

Чи можна уникнути цих втрат? Ні, тому що тертя можна лише зменшити, удосконаливши систему змащення. Але це не головне. Велика частина енергії палива виділяється у повітря. Усі відчували

гаряче дихання двигуна, який викидає через вихлопну трубу продукти згоряння робочої суміші. А чи можна запобігти цим втратам?

Щоб відповісти на це запитання, розглянемо ще один приклад. Понад 85 % всієї електроенергії в нашій країні виробляється тепловими електростанціями, на яких енергія палива перетворюється в електричну енергію. Наскільки ефективним є це перетворення? Теплоелектроцентральною (ТЕЦ) дає нам світло й тепло. В її корпусах хімічна енергія палива перетворюється в енергію води й пари, а потім — у механічну енергію руху турбіни і, нарешті, в електричну енергію. За корпусами ТЕЦ стоять вічно оповиті паром башти. У них охолоджується вода. Не вся енергія палива перетворюється в електричну енергію.

Оскільки парові турбіни мають коефіцієнт корисної дії близько 40 %, то з кожної тонни палива 600 кг використовується для обігрівання навколишнього повітря і хмар, що пропливають над ТЕЦ. Правда, частина енергії йде на обігрівання житлових будинків, але все-таки багато внутрішньої енергії пари втрачається марно. Чи не можна зменшити ці втрати? Безперечно, можна. Частину енергії, що виділяється в результаті охолодження води, можна використовувати для обігрівання оранжерей чи засніжених тротуарів взимку. Але внутрішня енергія лишилась при цьому внутрішньою енергією, вона не перетворюється в інші види, а лише розсіється в навколишньому просторі.

Можна зробити й інакше. Прибудувати до ТЕЦ ще один корпус і розмістити в ньому так звані фреонові установки. Подібні електростанції вже працюють на внутрішній енергії природних джерел гарячої води з температурою 60—80 °С. Леткий фреон, нагрітий за рахунок гарячої води, обертає

додаткову турбіну, і ще частина енергії перетвориться в електричну енергію. ККД використання енергії палива стане трохи більшим. Правда, поки що такі фреонові установки не дуже економічно вигідні. Та як би ми не намагались, добитися повного перетворення енергії палива в корисну роботу не можна. Просто неможливо побудувати двигун, який би, образно кажучи, не викидав енергії на вітер. У фізиці цей факт формулюють так: не можна побудувати таку теплову машину, яка повністю перетворювала б енергію палива в роботу.

Чому неможливий тепловий двигун з ККД, що дорівнює 100 %?

Ми знаємо, що енергія не зникає і не з'являється з нічого; вона може лише перетворюватися з однієї форми в іншу; при цьому її кількість залишається незмінною. Але виявляється, що перетворення однієї форми енергії в іншу відбувається неоднаково. У всякому ланцюжку перетворень енергії певна її частина перетворюється обов'язково у внутрішню енергію, яка розсіюється в навколишньому просторі. Звичайно, ця частина енергії не втрачається зовсім, тому що за законом збереження енергія зовсім не може зникнути. Але під втратою енергії мають на увазі перетворення її в найменш цінний вид — у внутрішню, яку не можна вже знову повністю перетворити в потрібний вид енергії, наприклад, у механічну.

Не всі види енергії становлять для нас однакову цінність, бо не всі однаково легко перетворюються один в одного. Найбільш цінним і зручним видом енергії є електрична, оскільки вона легко і з високим коефіцієнтом корисної дії може перетворюватись

у будь-який інший вид. Електрична лампочка перетворює її в енергію світла, електродвигун — знову в механічну енергію. Електрична плитка чи якийсь інший нагрівний прилад перетворює електричну енергію у внутрішню. Електричну енергію можна перетворити і в хімічну при електролізі чи зарядці акумуляторів. ККД всіх цих процесів наближається до 100 %. Тому ми й вважаємо електричну енергію найбільш цінним видом енергії.

Механічну або електричну енергію можна дуже легко й повністю перетворити у внутрішню. А от внутрішню енергію значно важче перетворити в механічну, і повністю це зробити взагалі не вдається. Тому ми й говоримо, що внутрішня енергія — це найменш цінний вид енергії.

Поставимо на гарячу плитку каструлю з холодною водою: вода нагріється — певна кількість енергії від гарячої плити перейде до холодної води. А тепер поспробуйте уявити собі зворотний процес передачі енергії від холодної води до гарячої плити. Це означало б, що холодна вода більше охолонула б і перетворилася у лід, а гаряча плита розжарилась би до червоного. Кожному зрозуміло, що це неможливо, хоча такий процес не суперечить законам збереження енергії. Усі процеси, в яких бере участь внутрішня енергія, необоротні. Таким є найпростіший з них — процес теплопередачі, який ми щойно розглянули. Але такими є і найважливіші для техніки процеси перетворення внутрішньої енергії в механічну, які відбуваються в теплових двигунах.

Коли б усі процеси перетворення енергії були оборотними, то ККД завжди можна було б довести до 100 %; адже енергія зовсім не втрачається, вона може лише перетворюватися у внутрішню енергію. Насправді ж процес перетворення інших видів енергії у внутрішню необоротний. Саме тому коефі-

цієнт корисної дії всякої машини менший від 100 %, а ККД теплових двигунів взагалі невисокий. Навіть у найбільш досконалих з них (дизельні двигуни, паротурбінні установки) не більш як 35—40 % енергії, яка міститься в паливі, перетворюється в механічну роботу.

Коли пара з котла надходить під поршень парової машини, а пальна суміш — у циліндр двигуна внутрішнього згорання, то частина внутрішньої енергії пари чи пальної суміші обов'язково йде на нагрівання самого поршня, стінок циліндра, тобто розсіюється, і тільки частина перетворюється в механічну енергію.

Те, що тільки частина внутрішньої енергії може перетворитися в механічну, має принципове значення при побудові машин. Якби був побудований тепловий двигун, який всю енергію, одержану від згорання палива, повністю перетворював у роботу, то ми дістали б вічний двигун другого роду. Якби можна було збудувати такий двигун, ми б дістали практично невичерпні джерела енергії.

На відміну від вічного двигуна першого роду, який виробляв би енергію з нічого і неможливість побудови якого впливає із закону збереження і перетворення енергії, у вічному двигуні другого роду передбачається виконання роботи лише за рахунок віднімання певної кількості енергії від навколишнього середовища. Якби це було можливо, то великі кількості води у морях і океанах можна було б використовувати як безпосередні джерела внутрішньої енергії.

Але робота такого двигуна була б порушенням законів фізики. Отже, створити вічний двигун другого роду також неможливо.

А тепер на прикладі двигуна внутрішнього згорання розглянемо, як пояснюється неможливість

побудови двигуна другого роду з погляду молекулярно-кінетичної теорії. Що означало б повне перетворення енергії пальної суміші в кінетичну енергію поршня? Таке повне перетворення відбулося б у тому випадку, якби всі молекули горючої суміші одночасно полетіли б до поршня, ударилися об нього і зупинились. Тільки в цьому випадку вся енергія всіх молекул перейшла б до поршня. Але такий процес неможливий.

Молекули пальної суміші перебувають у стані хаотичного теплового руху, тобто рухаються в усіх можливих напрямках і стикаються не тільки з поршнем, а й з стінками циліндра. Ударяючись об стінки циліндра, молекули передають їм частину своєї енергії і зумовлюють нагрівання; нагрівається також і поршень. Енергія передається всьому тілу двигуна і нагріває навколишнє повітря. Таким чином, хаотичність руху молекул пальної суміші — одна з причин недосяжності стопроцентного ККД теплового двигуна.

Та й не тільки в цьому справа. При зіткненні молекули віддають тільки частину своєї енергії. Відскочивши від поршня, вони продовжують рухатися, тільки з дещо меншою швидкістю. І ці молекули ми змушені викидати в атмосферу. Адже робота двигуна внутрішнього згорання циклічна: робоча суміш засмоктується, згоряє, рухає поршень, потім викидається, відбувається вихлоп газу, поршень повертається у вихідне положення. В атмосферу викидається гарячий газ, а разом з ним і велика частка тієї енергії, яка виділилась від згорання палива. Така друга і основна причина неможливості перетворення енергії палива в корисну енергію, тобто коефіцієнт корисної дії машини не може дорівнювати одиниці. Частина енергії йде на нагрівання тіла автомобіля, частина — на нагрівання нав-

колишнього повітря, куди викидаються відпрацьовані гази, і лише невелика частина перетворюється в потрібну для руху автомобіля кінетичну енергію поршня.

Ще раз про неможливість створення вічного двигуна

Винахідники перших теплових машин навіть не задумувалися над ККД машини. Їм важливо було, щоб машина працювала, замінивши важку ручну працю. Коли І. І. Ползунова запитали, яким може бути зазор між поршнем і стінкою циліндра, він відповів, що в цю щілину може проходити мізинець. Як про велике технічне досягнення повідомляла одна з газет на початку ХІХ ст. про нову машину, виготовлену з такою високою точністю, що навіть п'ятак не проходив у зазор між поршнем і стінкою циліндра. Можете уявити собі, який ККД мала така машина.

З кожним роком теплових машин ставало дедалі більше, з'ясовувалося, що одні машини витрачають менше вугілля і нафти, другі — більше. Багато винахідників розгубилися. Що робити? Підвищувати температуру чи тиск робочого тіла в циліндрі машини? Відповідь могла дати тільки теорія теплових машин.

Умови максимального ефекту теплових машин шукав на початку ХІХ ст. поручик французької армії Нікола Леонар Саді Карно. У 1824 р. він опублікував твір «Роздуми про рушійну силу вогню», в якому показав, що ККД теплового двигуна залежить від температур нагрівника T_1 і холодильника T_2 і у випадку ідеального двигуна його можна обчислити за формулою:

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}.$$

Під температурою нагрівника T_1 розуміють температуру пари, яка надходить у циліндр парової машини або робочої суміші у циліндрі двигуна внутрішнього згоряння. Температура холодильника — це по суті температура повітря, яке оточує двигун.

Із вчення Карно випливало, що механічну роботу можна виконати лише при наявності різниці температур. Це, безперечно, важлива умова одержання корисної роботи. Але самої різниці температур недостатньо для одержання механічної роботи. У плиті горять дрова чи брикет, температура полум'я досягає $1600\text{ }^\circ\text{C}$, дим виходить з труби з температурою близько $1000\text{ }^\circ\text{C}$, і все-таки плита не є двигуном. Щоб перетворити внутрішню енергію палива в механічну роботу, потрібна різниця тисків, яка б приводила в рух поршень чи колесо турбіни. За першим законом Ньютона для зміни швидкості руху тіла до нього треба прикласти силу. У двигуні внутрішнього згоряння сила за рахунок тиску газів створюється попереднім стисканням і спалюванням палива у замкнутому об'ємі циліндра, у газовій турбіні — компресором; у паровій установці — живильним насосом і випаровуванням води в замкнутому об'ємі котла. Робоче тіло в двигуні внутрішнього згоряння нагрівається в циліндрі перед початком робочого ходу поршня, у паровій установці — в камері згоряння. Взагалі, будь-який тепловий двигун працює за схемою: *стиснення, нагрівання, розширення*.

Для одержання корисної роботи треба затратити певну кількість енергії. Видатний англійський фізик Вільям Томсон (лорд Кельвін) працював над розв'язанням питання: а чи не можна побудувати теплову машину, яка б перетворювала всю підведену до неї енергію у роботу, іншими словами, чи не

може ККД теплової машини дорівнювати ста процентам.

Нехай робоче тіло двигуна дістає від нагрівника у процесі розширення кількість енергії Q_1 , а в процесі стискування віддає холодильнику кількість енергії Q_2 . Очевидно, корисна робота дорівнюватиме $Q_1 - Q_2$. Тоді коефіцієнт корисної дії машини дорівнюватиме:

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}.$$

З цієї формули випливає, що ККД може дорівнювати ста процентам лише у тому випадку, коли $Q_2 = 0$, тобто коли б машина обходилась без холодильника. Але відсутність холодильника означала б відсутність різниці температур, а ми знаємо, що наявність такої різниці є необхідною умовою одержання механічної роботи від машини.

В. Томсон прийшов до висновку, що не можна побудувати теплову машину, яка б працювала тільки за рахунок одного нагрівника і, отже, перетворювала б всю підведену до неї внутрішню енергію у механічну.

Економічна вигідність машини, яка працювала б без холодильника, очевидна. Крім того, що її ККД дорівнював би ста процентам, така машина могла б просто вбирати внутрішню енергію з навколишніх тіл і перетворювати її в механічну. Людство опанувало б невичерпні запаси внутрішньої енергії морів, океанів, землі, атмосфери тощо. Розрахунки показують, що коли б усі промислові установки на Землі працювали за рахунок внутрішньої енергії вод океанів, то майже після двох тисяч років безперервної дії температура води світового океану знизилась би на 0,01 градуса.

Машина, яка б працювала без холодильника, була б вічним двигуном. Але цей вічний двигун за своєю природою, як ви, мабуть, добре розумієте, відрізнявся б від вічного двигуна першого роду, неможливість існування якого випливає із закону збереження і перетворення енергії. Робота теплової машини без холодильника не суперечить законові збереження і перетворення енергії. Адже такий двигун виконує корисну роботу за рахунок внутрішньої енергії другого тіла (нагрівника), яку машина одержує в результаті теплопередачі. Енергія, яка надходить від нагрівника, повністю перетворювалася б такою машиною у механічну енергію.

Але якщо не можна збудувати тепловий двигун із стопроцентним коефіцієнтом корисної дії, то як цей коефіцієнт можна підвищити? З формули Карно

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

впливає, що для збільшення ККД двигуна треба підвищувати температуру нагрівника T_1 і зменшувати температуру холодильника T_2 . Температуру навколишньої атмосфери T_2 ми не можемо змінити. Залишається один спосіб: підвищувати температуру в циліндрах двигуна.

У паросилових установках різниця між температурами нагрівника і холодильника залежить від температури пари, яка надходить до циліндра. Враховуючи це, учені створюють установки, в яких використовується пара з температурою до 600—650 °С і при тиску до $3 \cdot 10^7$ — $3,5 \cdot 10^7$ Па. А радянські вчені успішно досліджують властивості пари при температурі до 1500 °С і тиску до $1,2 \cdot 10^8$ Па. Проте використання пари з такими високими параметрами обмежується необхідністю застосовувати жаротривкі матеріали.

У циліндрі двигуна внутрішнього згоряння температура буде тим більшою, чим вищий ступінь попереднього стискування горючої суміші перед її запалюванням. Межа підвищення стискання залежить від якості палива. При попередньому стисканні горючої суміші виникають вибухові речовини — так звані пероксиди. Чим більший ступінь стискування, тим більше нагромаджується пероксидів у пальній суміші, і при надто сильному стисканні згоряння палива набуває характеру вибуху — так званої детонації. Двигун починає стукотіти. Енергія палива при цьому витрачається не на корисну роботу, а на даремне нагрівання стінок двигуна. Зрештою, сильна детонація може призвести до руйнування двигуна.

Щоб запобігти детонації, до палива добавляють мізерні кількості спеціальних речовин-антидетонаторів. Другий спосіб боротьби з детонацією — підвищення якості палива. Залежно від хімічного складу бензин може більше чи менше детонувати. Цю здатність характеризують так званим октановим числом. Чим більше октанове число, тим вищий ступінь стискування можна допустити в роботі двигуна на цьому бензині. Збільшення октанового числа — один з найважливіших способів поліпшення роботи карбюраторного двигуна.

Двигун з «чистим диханням»

Боротьба за чистоту повітря — одна з головних проблем великих міст. Сорок років тому вулицями Москви курсувало лише 29 тролейбусів, 50 автобусів, 404 таксомотори. Нині на вулиці міста щоденно виходять понад 2500 тролейбусів, майже 6000 автобусів, 15000 таксі. Крім того, ще рухаються десятки тисяч автомобілів, які перебувають в особи-

стому користуванні, багато вантажного автотранспорту. Якщо на околицях міста, де розкинулись великі зелені масиви, автомобільні забруднення не дуже помітні, то в центрі вони фіксуються не лише приладами, а й нашими легенями, особливо в години пік.

Адже кожна тисяча автомобілів щодня викидає в атмосферу понад три тонни оксиду вуглецю і сотні кілограмів інших шкідливих речовин. Тому одне з головних завдань учених та інженерів полягає в створенні «чистого» двигуна.

Прогрес автомобільної техніки привів до того, що маленькі двигуни стали потужними, виник поділ автомобілів на типи й класи. «Сітроєни», «форди», «татри», «москвичі», «мерседеси», «шевроле», «жигулі», «волги», «датсони», «рено», «трабанти», «запорожці», «чайки» ринули на міські вулиці.

Італійський дослідник Ж. Мароцеллі назвав пристрасть до автомобіля «Коллективним божевіллям людей».

Легким натискуванням на педаль людина скеровує в простір підвладний їй «апарат», змушуючи його вивергати хмари газів і диму. Водія цікавлять тільки рух і швидкість, решта ніби-то не має значення. Ніби-то... А насправді?

Насправді ж на транспорт у глобальному масштабі припадає 40 % усіх забруднень навколишнього середовища. Дорогами світу рухається близько 300 млн. автомобілів. За 1000 км шляху один легковий автомобіль витрачає стільки кисню, скільки його б вистачило дорослій людині на рік. Та головне лихо все-таки в тому, що автомобільні двигуни гірше за інші енергетичні установки спалюють паливо, а тому є основними забруднювачами атмосфери.

Токсичні викиди автомобільних та інших

теплових двигунів у атмосферу — причина багатьох людських недугів. Така плата за швидкість.

Де ж вихід? Існуючі темпи зростання виробництва автомобілів (у 2000-му році їх кількість досягне 500 мільйонів) свідчать про те, що людство не збирається розлучатися із сучасними задимлювачами повітря.

Учених і конструкторів уже давно приваблювала ідея добитися повного згоряння палива у двигунах. Пропонувались багаточисленні проекти і схеми. Але всі вони не давали бажаного ефекту. Радянський професор Л. Гуссак почав займатися цією проблемою майже сорок років тому. І ось багаторічні дослідження успішно закінчились. На автомобільному заводі імені І. А. Лихачова проведено експлуатаційні випробування нового, так званого форвакуумного двигуна. Двадцять вантажних автомобілів із встановленими на них форвакуумними двигунами пройшли понад сто тисяч кілометрів кожний. Їхній шлях пролягав через міста, степи і пустині. Побували машини навіть на Памірі.

Випробування показали високу економічність нової конструкції: форвакуумний двигун порівняно із звичайним витрачає пального на 10 % менше. Для його роботи можна використовувати бензин з низьким октановим числом, тобто дешевший. А найголовніше — в атмосферу не викидаються шкідливі отруйні речовини.

Як виявилось, незгорілі частинки палива можуть бути каталізатором, своєрідними сірниками для підпалювання палива в камері згоряння. Відкриття професора Л. Гуссака, яке називається «високою хімічною активністю продуктів неповного згоряння багатої горючої суміші», зареєстровано Державним

комітетом Ради Міністрів СРСР у справах винаходів і відкриттів.

Є й інші способи зменшення кількості викидання шкідливих речовин автомобілем. Наприклад, конструюють спеціальні фільтри на вихлопну трубу, створюють двигуни, які працюють на газі. Не так давно на Горьківському автозаводі на базі «Волги-ГАЗ-24» інженери створили газомобіль. У глибині багажника встановлено газовий балон ємкістю 90 л. Цього пального вистачає, щоб проїхати 350—400 км. Приблизно таку саму відстань проїжджає за зміну звичайне таксі. Головна перевага газомобіля — це знижена доза оксиду вуглецю в складі вихлопних газів, що, звичайно, зменшує забруднення повітряного середовища.

Ну, а якщо відмовитися від бензинового або газового двигуна взагалі? У багатьох країнах світу зараз створюють електромобілі. У нашій країні також розв'язується ця проблема. Модель, створена на базі автомобіля «Запорожець», може проїхати з швидкістю 60 км за годину відстань близько 100 км. Передбачається виготовлення на базі серійного автомобіля «УАЗ» дослідної партії електромобілів змінного струму. Ці машини проходять експлуатаційні випробування в умовах Москви, розвозячи невеликі партії торгових вантажів.

На дорогах Західної Німеччини з'явилися електричні автобуси «Даймлер-Бенц», а в Амстердамі вже є цілий парк електричних таксі. Англійське електроенергетичне управління закупило 60 електричних автомобілів «Інфільд». Французька державна електротехнічна компанія переобладнала в електричні сто маленьких «Рено», а Американська рада з електричних автомобілів замовила «Баттронік трак корпорейшн» сто спеціально спроектованих електричних автофургонів.

Пара, повний вперед!

Нещодавно, через 60 років після створення парового автомобіля американським винахідником Стенлі, по Вашингтону знову проїхали автомобілі, які приводилися в рух парою. Два старанно опоряджені експериментальні зразки автомобілів були поставлені в гараж нового приміщення сенату, і, як тільки закінчилось засідання сенатської комісії по боротьбі із забрудненням атмосфери і води, кілька senatorів сіли в ці машини, щоб здійснити поїздку по місту. Це була далеко не святкова прогулянка (кольорова вклейка XVI). Обидва автомобілі рушають з місця менш ніж через 30 секунд після вмикання двигуна і розвивають швидкість до 160 км за годину. Працюють вони на будь-якому пальному, у тому числі й на гасі. Система миттєвого пароутворення включає в себе пальник, за допомогою якого нагрівається невелика кількість пари, що міститься в трубці під тиском. Пара надходить у циліндри, і поршні приводять у рух колінчастий вал.

Недоліки перших парових автомобілів були такі: вони потребували занадто багато часу, щоб рушити з місця, взимку у них могла замерзати вода, вони мали велику масу, невеликий радіус пробігу, були дорогими, складними для експлуатації. Американські вчені вважають, що зараз ці недоліки усунуто. За допомогою трубного парогенератора, в якому в будь-який момент часу бере участь лише незначна кількість води, конструкторам вдалось прискорити старт автомобіля і ліквідувати небезпеку вибуху парового котла. Розміри двигуна зменшено за рахунок щільнішого розміщення трубок парогенератора. Антифриз, або система сигналізації, запобігають замерзанню води.

Якщо це так, то чому ж американці не їздять на парових автомобілях? Прихильники парових автомобілів пояснюють це тим, що технологія автомобільної промисловості пов'язана з двигуном внутрішнього згорання.

Полум'яне серце літака

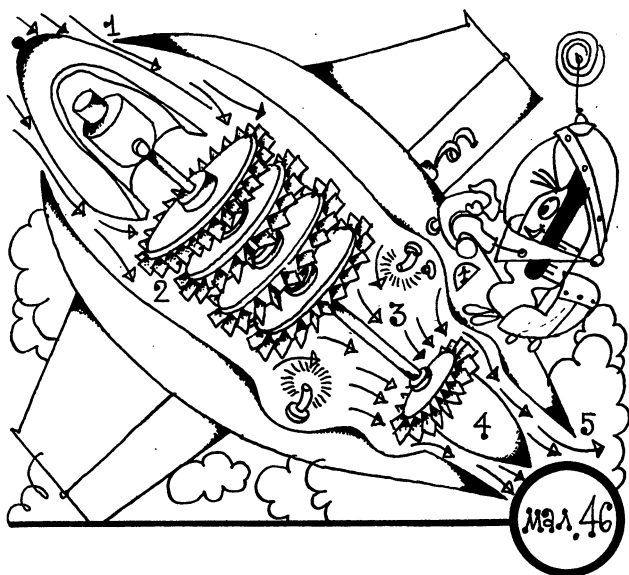
...«Не палити». «Пристебнути ремні» — спалахує табло в салоні літака. Один за одним закрутилися величезні гвинти — запущено двигуни. І ось повільно літак починає рухатися, зрідка здригаючись на стиках бетонних плит аеродрому. Літак вирулює на злітну смугу і завмирає. Через кілька секунд гудіння двигунів посилюється. Пілот відпускає гальма, і величезний повітряний корабель, мов стріла, випущена з лука, кидається вперед.

Швидше, ще швидше... Десятки тисяч кіловатів стрімко тягнуть багатотонний літак вперед. Мить — і ось уже рівно і нестримно вони піднімають гігантську машину в небо.

Десятки тисяч кіловатів зосереджені в двигунах, що мають розмір лише метр з лишком у поперечнику. Авіаційний двигун — джерело величезної потужності, стрімких швидкостей, полум'яне серце сучасного літака.

Від перших польотів братів Райт з недосконалим двигуном потужністю 8 к. с. (5,9 кВт) минуло близько 70 років, а в авіаційному двигунобудуванні змінилися дві епохи: поршневих двигунів і двигунів нового типу — газотурбінних.

Ідея газотурбінного двигуна (ГТД) дуже проста (мал. 46): повітря, що надходить у двигун, стискується компресором 2; потім у камеру згорання впорскується паливо, яке там згоряє, а продукти



згорання потрапляють на робочі лопатки і змушують обертатися робоче колесо, укріплене на валу турбіни 4.

Швидше обертається вал турбіни, більше засмоктується повітря, збільшується подача пального, зростає крутильний момент газової турбіни, і так поки вона не розкрутиться до розрахованої кількості обертів. За розподілом потужності ці двигуни поділяють на турбореактивні і турбогвинтові. У турбореактивних менша частина енергії пального змушує обертатися газову турбіну (яка обертає лише компресор), а більша частина створює реактивну тягу. У турбогвинтових більша частина енергії

пального обертає газову турбіну, на валу залишається надлишок потужності, який використовується для обертання повітряного гвинта; менша частина енергії пального створює реактивну тягу. Турбореактивні двигуни встановлено на літаках ТУ-104, ТУ-144, турбогвинтові — на ІЛ-18, АН-10, ТУ-114.

Сучасний газотурбінний двигун — це механізм найдосконалішої конструкції. Повітря стискається в компресорі до $(2-3) \cdot 10^6$ Па; за камерою згоряння температура газів може досягати 1300—1400 °С. Нагадаємо, що температура розжареного тіла становить всього 500 °С. Гарячий газ подається в турбіну, ротор якої обертається з величезною швидкістю. Швидкість руху зовнішніх точок лопаток (так звана колова швидкість) досягає 450—500 метрів за секунду. Такі справді космічні колові швидкості приводять до виникнення надзвичайно великих сил, які намагаються розтягнути, розірвати робочі лопатки при обертанні. Перевантаження, що діють на них, в 40—50 тисяч разів перевищують силу земного тяжіння. У полі подібних сил один кубічний сантиметр металу «важить» півтонни.

Матеріалів, які витримали б такі грандіозні перевантаження при високій температурі, у природі не існує. Тому, щоб забезпечити працездатність лопаток і дисків турбіни, їх доводиться охолоджувати повітрям. Усі деталі турбіни виготовляються з великим «запасом міцності»: вони можуть витримувати навантаження, які в 1,5—2 рази перевищують фактичні, ті, що діють в реальних умовах. Це забезпечує високу надійність роботи двигуна, а отже, і повну безпеку польоту.



У цій невеликій книжці ми розповіли про одну з цікавих галузей фізики: про теплові явища та можливості їх використання в народному господарстві. Ми не ставили перед собою мети розповісти про всі «теплові проблеми», а намагались прочинити перед читачем вікно в світ теплових явищ, безмежний, заманливий і вічний, як вічне саме життя. Якщо розглянуті тут питання зацікавлять наших читачів, то мета, що ставилася при написанні цієї книжки, буде досягнута. А тим, хто захоче глибше ознайомитися з тепловими явищами та їх використанням, радимо прочитати таку літературу.

Л і т е р а т у р а

1. Билимович Б. Ф. Тепловые явления в технике. М.: Просвещение, 1983. 96 с.
2. Бурмин Г. Штурм абсолютного нуля. М.: Дет. лит., 1983. 190 с.
3. Книга для чтения по физике. 6—7 класс: Пособие для учащихся / Сост. И. Г. Кириллова. М.: Просвещение, 1978. 160 с.
4. Сафронов В. По той бік нуля. К.: Веселка, 1980. 104 с.
5. Серегин А. В. Путь в космос. М.: Просвещение, 1974. 144 с.
6. Смородинский А. Я. Температура. М.: Наука, 1981. 160 с.
7. Физика — юным: Теплота. Электричество. М.: Просвещение, 1980. 160 с.

З М І С Т

Передмова	5
---------------------	---

Теплові явища

Про природу теплових явищ	8
Що таке внутрішня енергія тіла і як її можна змінити?	16
Теплота й механічна енергія	20
Енергія чашки кави	29
Боротьба з нагріванням деталей	30
Зварювання металів тертям	35
Як відбувається теплопередача?	38
«Бачу» теплоту!	57
Нагріти, щоб швидше охолодити	63
Що вимірює термометр?	66
Які бувають термометри?	80
Угору і вниз по температурній шкалі	90
Як зварити кашу на Марсі?	97
Система опалення... на стелі	102
Чому буває вітер?	109
Що впливає на погоду?	115
Енергія Сонця	119
Працює Сонце	121
Енергія «Хліба промисловості»	130
Твердий газ	133
Калорійність двох літрів молока дорівнює енергії одного кілограма динаміту	136
За енергією — в глибини Землі	138
Турбіна в кратері вулкана	145

Дещо про метали і сплави

Кристали металів	148
Будова кристалів	155

Метали на службі в людині	156
Цікаві метали	159
Двічі відкритий	162
Чисті й надчисті метали	164
У чому секрет твердості загартованої сталі?	166
Таємниця булату	168
Сила й слава сплавів	172
Сплав «пригадує»	177
Прецизійні сплави	178
Як дістають сплави?	181
Деревний сплав	186
Плавлення кристалів	188
Найстаріший спосіб виготовлення металевих виробів	190
Прогресивні види лиття	196
Метал добувають бактерії	200

Про теплові двигуни

З історії винайдення парової машини	206
Коротко про дизельний двигун	210
Новинці — півтора століття	213
Про коефіцієнт корисної дії теплових машин	216
Чому неможливий тепловий двигун з ККД, що дорівнює 100 %?	220
Ще раз про неможливість створення вічного двигуна	224
Двигун з «чистим диханням»	228
Пара, повний вперед!	232
Полум'яне серце літака	233

СЕМЕН УСТИНОВИЧ ГОНЧАРЕНКО
КНИГА ДЛЯ ЧТЕНИЯ ПО ФИЗИКЕ. 7 КЛАСС. ТЕПЛОВЫЕ
ЯВЛЕНИЯ

(на українському мові)

Київ, «Радянська школа»

Зав. редакцією фізики *В. П. Йора*. Редактор *Е. О. Кучерова*.
Літредактор *Л. О. Поповченко*. Художній редактор *Г. І. Грибова*.
Технічний редактор *А. Г. Фрідман*. Коректори: *Н. Я. Савонік*,
І. М. Ситниченко

Інформ. бланк № 4266

Здано до набору 14.06.84. Підписано до друку 26.11.84. БФ 10830.
Формат $70 \times 90^{1/32}$. Папір № 2, офсетн. Гарнітура літ. Спосіб
друку офсет. Умовн. арк. 8,78 + 0,15 форз. + 0,59 вкл. Умовн. фарб.-
відб. 11,44. Обл.-видавн. арк. 9,13 + 0,24 форз. + 0,85 вкл. Ти-
раж 19 000 пр. Видавн. № 28110. Зам. № 4—188. Ціна 60 к.

Видавництво «Радянська школа». 252053. Київ, Ю. Коцюбин-
ського, 5.

Для дітей середнього шкільного віку

Віддруковано з текстових діапозитивів Головного підприємства
РВО «Поліграфкнига» на київській книжковій фабриці «Жовтень».
252053, Київ, Артема, 25.

Гончаренко С. У.

Г65 Книжка для читання з фізики: 7 кл.
Теплові явища.— К.: Рад. шк., 1985.—
238 с., іл.— Бібліогр.: с. 236.

В опр.: 60 к. 19 000 пр.

У книжці в популярній формі розповідається про теплові явища, про те, як саме вони проявляються в природі і застосовуються у сучасній техніці. Висвітлюються такі питання, як історія вивчення природи теплових явищ, винайдення способу зварювання металів тертям, використання теплового випромінювання, історія створення термометрів, різні способи обігрівання житлових приміщень, використання енергії Сонця і надр Землі. Значну увагу приділено поясненню методів одержання сплавів. Відомості, викладені у книжці, доповнюють матеріал підручника. Призначається для учнів середньої школи. Матеріал книжки можуть використати вчителі фізики на уроках і у позакласній роботі.

Г $\frac{480200000-122}{M210(04)-85}$ 360—85

© Видавництво
«Радянська школа»,
1985.

60к

