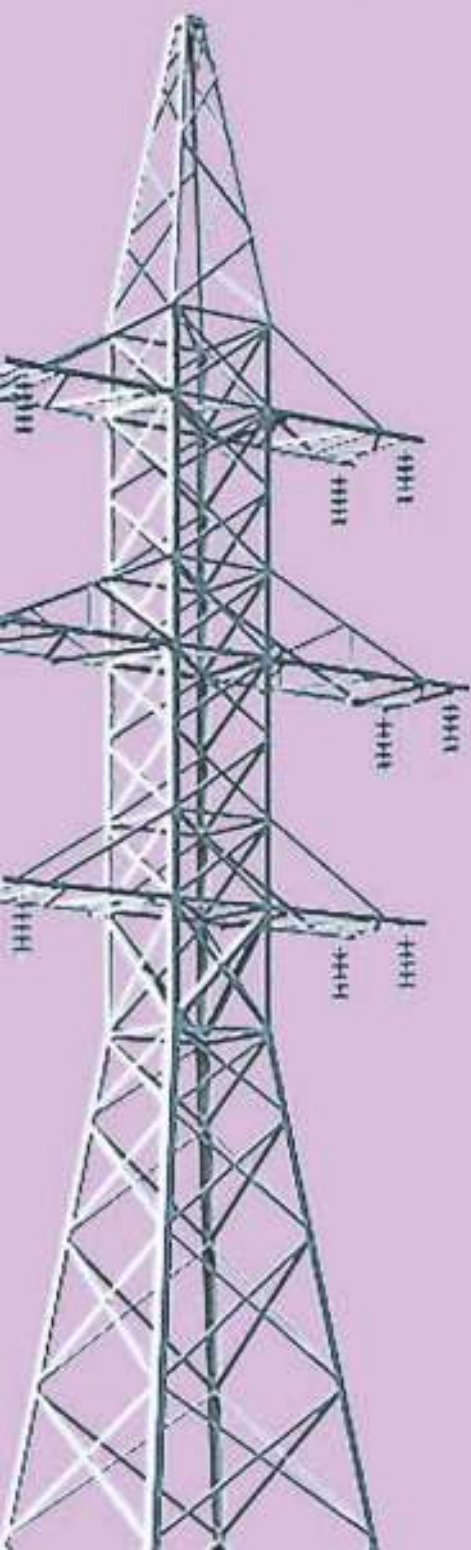


Л. А. Ісачанкава Ю. Д. Ляшчынскі У. У. Дарафейчык

ФІЗІКА





ВОЛЬТА АЛЕСАНДРА
(1745 – 1827)

Італьянскі фізік і фізіёлаг. Стварыў першую крыніцу пастаяннага току і рад электрычных прыбораў: электрометр, кандэнсатар і інш. Адкрыў узаемную электрызацыю рознародных металаў пры іх кантакце. Пры правядзенні фізіялагічных даследаў вызначыў электрычную раздражняльнасць органаў зроку і смаку ў чалавека, нерваў і мышцаў у жывёл. Гэтыя даследы былі пакладзены ў аснову метадаў фізіялагічнага эксперымента.



АМПЕР АНДРЭ МАРЫ
(1775 – 1836)

Французскі фізік і матэматык. Да 14 гадоў прачытаў усе 20 тамоў «Энцыклапеды» Д. Дзідро і Ж. Л. Д'Аламбера і заняўся прыродазнаўчымі навукамі і матэматыкай. Адкрыў узаемадзеянне электрычных токаў і ўстанавіў закон для вызначэння сілы гэтага ўзаемадзеяння. Пабудаваў першую тэорыю магнетызму, заснаваную на гіпотэзе малекулярных токаў.



КУЛОН ШАРЛЬ АГЮСТЭН
(1736 – 1806)

Французскі фізік і ваенны інжынер. Унёс вялікі ўклад у прыкладную механіку. Сфармуляваў законы трэння, пругкага кручэння. Пабудаваў круцільныя вагі для вызначэння сілы. З іх дапамогай устанавіў закон узаемадзеяння кропкавых зарадаў. Сканструяваў магнітометр. Заклаў асновы электра- і магнітастатыкі.



ОМ ГЕОРГ СІМАН
(1787 – 1854)

Нямецкі фізік. Асноўныя працы прысвечаны электрычнасці, аптыцы, акустыцы. Адкрыў асноўны закон электрычнага ланцуга (закон Ома) і зрабіў яго тэарэтычнае абгрунтаванне.

ФАРАДЭЙ МАЙКЛ
(1791 – 1867)



Англійскі фізік і хімік. Таленавіты эксперыментатар, заснавальнік вучэння аб электрычным полі. Даследаваў сувязь паміж электрычнымі і магнітнымі з'явамі. Вывучаў магчымасць «ператварыць магнетызм у электрычнасць» і дасягнуў поспеху, адкрыўшы з'яву электрамагнітнай індукцыі, якая ляжыць у аснове генератараў току. Даказаў тоеснасць розных відаў электрычнасці.

ЛЕНЦ ЭМІЛІЙ ХРЫСЦІЯНАВІЧ
(1804 – 1865)



Рускі фізік і электратэхнік. Даў метады разліку электрамагнітаў, устанавіў абарачальнасць электрычных машын. Дакладнымі эксперыментамі абгрунтаваў закон цеплага дзеяння электрычнага току. Даследаваў залежнасць супраціўлення металаў ад тэмпературы.

ДЖОЎЛЬ ДЖЭЙМС ПРЭСКАТ
(1818 – 1889)



Англійскі фізік. Унёс вялікі ўклад у даследаванне электрычнасці, магнетызму, цеплавых з'яў, у стварэнне фізікі нізкіх тэмператур, у абгрунтаванне закону захавання энергіі. Устанавіў залежнасць колькасці цеплаты, якая вылучаецца ў правадніку, ад яго супраціўлення і сілы току (закон Джоўля — Ленца). Вызначыў механічны эквівалент цеплаты, цеплаёмістасці некаторых газаў і інш.

РЭЗЕРФАРД ЭРНЕСТ
(1871 – 1937)



Англійскі фізік. Лаўрэат Нобелеўскай прэміі (1908). Адзін са стваральнікаў вучэння аб радыеактыўнасці і будове атама. Прапанаваў планетарную мадэль атама. Ажыццявіў першую штучную ядзерную рэакцыю. Прадказаў існаванне нейтрона.

Л. А. Исачанкава Ю. Д. Ляшчынскі У. У. Дарафейчык

ФІЗІКА

Вучэбны дапаможнік для 8 класа
ўстаноў агульнай сярэдняй адукацыі
з беларускай мовай навучання

Пад рэдакцыяй *Л. А. Исачанкавай*

*Даручана
Міністэрствам адукацыі
Рэспублікі Беларусь*

Мінск «Народная асвета» 2018

Правообладатель Народная асвета

УДК 53(075.3=161.3)
ББК 22.3я721
И85

Пераклад з рускай мовы *Н. М. Алганавай*

Рэцэнзенты:

кафедра фізікі і методыкі выкладання фізікі ўстановы адукацыі
«Беларускі дзяржаўны педагагічны ўніверсітэт імя Максіма Танка»
(кандыдат фізіка-матэматычных навук, дацэнт *В. М. Белая*);
настаўнік фізікі вышэйшай кваліфікацыйнай катэгорыі дзяржаўнай
установы адукацыі «Гімназія № 10 г. Мінска» *Т. У. Оліхвер*

ISBN 978-985-03-2934-9

© Ісачанкава Л. А., Ляшчынскі Ю. Д., Дара-
фейчык У. У., 2018
© Алганава Н. М., пераклад на беларускую
мову, 2018
© Афармленне. УП «Народная асвета», 2018

Правообладатель Народная асвета

ЗМЕСТ

Ад аўтараў	4
------------------	---

Раздзел 1. Цеплавые з’явы

§ 1. Унутраная энергія	6
§ 2. Спосабы змянення ўнутранай энергіі	8
§ 3. Цеплаправоднасць	12
§ 4. Канвекцыя	16
§ 5. Выпраменьванне	18
§ 6. Разлік колькасці цеплаты пры награванні і ахаладжэнні. Удзельная цеплаёмкасць	22
§ 7. Гарэнне. Удзельная цеплата згарання паліва	28
§ 8. Плаўленне і крышталізацыя ..	32
§ 9. Удзельная цеплата плаўлення і крышталізацыі	36
§ 10. Выпарэнне вадкасцей. Фактары, якія ўплываюць на скорасць выпарэння	40
§ 11. Кіпенне вадкасцей. Удзельная цеплата параўтварэння	44

Раздзел 2. Электрамагнітныя з’явы

§ 12. Электрызацыя цел. Узаемадзеянне зарадаў	52
§ 13. Праваднікі і дыэлектрыкі	56
§ 14. Электрызацыя праз уплыў ...	60
§ 15. Электрычны зарад. Элементарны зарад	64
§ 16. Будова атама. Іоны	67
§ 17. Электрычнае поле. Электрычнае напружанне	70
§ 18. Адзінка электрычнага напружання. Разлік работы ў электрычным полі	73
§ 19. Электрычны ток. Крыніцы току	76
§ 20. Сіла і напрамак электрычнага току	79
§ 21. Электрычны ланцуг. Вымярэнне сілы току і напружання	81
§ 22. Сувязь сілы току і напружання. Закон Ома для ўчастка электрычнага ланцуга	85

§ 23. Адзінка супраціўлення. Разлік супраціўлення	88
§ 24. Паслядоўнае злучэнне праваднікоў. Рэастат	94
§ 25. Паралельнае злучэнне праваднікоў	98
§ 26. Работа і магутнасць электрычнага току. Закон Джоўля — Ленца	102
§ 27. Выкарыстанне і эканомія электраэнергіі. Бяспека пры рабоце з электрапрыборамі (для дадатковага чытання)	106
§ 28. Пастаянныя магніты	110
§ 29. Магнітнае поле	114
§ 30. Магнітнае поле току	117
§ 31. Магнітнае поле прамога правадніка і шпулі з токам. Электрамагніт	119

Раздзел 3. Светлавые з’явы

§ 32. Крыніцы святла	124
§ 33. Скорасць святла. Прамалінейнасць распаўсюджвання святла	128
§ 34. Адбіццё святла	132
§ 35. Люстры. Відарыс у плоскім люстры	136
§ 36. Праламленне святла	140
§ 37. Лінзы. Аптычная сіла лінзы	144
§ 38. Пабудаваанне відарысаў у тонкіх лінзах	148
§ 39. Вока як аптычная сістэма	152
§ 40. Дэфекты зроку. Акуляры	154

Раздзел 4. Лабараторныя эксперыменты

Лабараторная работа № 1	158
Лабараторная работа № 2	159
Лабараторная работа № 3	161
Лабараторная работа № 4	162
Лабараторная работа № 5	164
Лабараторная работа № 6	165
Лабараторная работа № 7	167
Адказы да практыкаванняў	169
Прадметны паказальнік	171
Дадатак	173

Дарагія васьмікласнікі!

Матэрыял гэтага дапаможніка пазнаёміць вас з новымі фізічнымі з’явамі, найбольш важнымі законамі прыроды і іх значэннем для навукі, тэхнікі і практычнага жыцця. Аднак, каб рашаць практычныя задачы, тлумачыць тое, што адбываецца ў навакольным свеце, неабходна зразумець фізічныя з’явы, засвоіць іх сутнасць, асноўныя заканамернасці, якім яны падпарадкоўваюцца. Каб праца з вучэбным дапаможнікам была больш плённай, мы хацелі б даць вам некалькі парад.

Прачытайце параграф спачатку аглядна, а потым бярыцеся за яго вывучэнне грунтоўна. Асабліваю ўвагу надавайце азначэнням велічынь, формулам, законам. Яны ў тэксце вылучаны тлустым шрыфтам. Калі формула мае вывад, яго трэба самастойна ўзнавіць у сшытку.

У тэксце параграфа могуць сустракацца пытанні. Калі на якое-небудзь з пытанняў вы не змаглі адказаць, уважліва прачытайце тэкст параграфа яшчэ раз і зноў паспрабуйце адказаць на пытанне.

Уважліва чытайце апісанні доследаў, прыведзеныя ў параграфу. Многія з іх можна паўтарыць дома. Сур’ёзна стаўцеся да галоўных вывадаў. Іх карысна запісаць у сшытак і дапоўніць сваімі меркаваннямі, якія ў вас непазбежна ўзнікнуць.

У канцы параграфа прадугледжаны кантрольныя пытанні. Імкніцеся даць адказ на кожнае з іх, нават калі для гэтага спатрэбіцца выкарыстаць дадатковую літаратуру або Інтэрнэт.

Пасля вывучэння тэарэтычнага матэрыялу, адказаў на кантрольныя пытанні трэба рашыць задачы, прапанаваныя ў практыкаваннях. Задачи размешчаны па ступені нарастання складанасці. Найбольш складаныя задачы і кантрольныя пытанні пазначаны знакам . У некаторых параграфу змяшчаецца матэрыял для дапытлівых. Ён можа быць вывучаны па жаданні.

У канцы большасці параграфу ёсць дамашнія эксперыментальныя заданні, а ў канцы раздзелаў дадзены спісы праектных заданняў. Яны выконваюцца па рэкамендацыі настаўніка.

Рэкамендацыі па «ажыўленні» доследаў, пазначаных знакам , дадзены ў Дадатку.

У стварэнні вучэбнага дапаможніка прымаў удзел вялікі калектыў спецыялістаў. Шануйце намаганні ўсіх, хто працаваў над кнігай, — беражыце яе!

Жадаем вам творчасці і поспехаў пры вывучэнні фізікі.

Аўтары



Цеплавья з'явы

- Як хутчэй астудзіць гарачы чай?
- Чаму зімой дзьме ад зачыненага акна?
- Чаму лёд слізкі?
- Ці заўсёды вада, што кіпіць, гарачая?



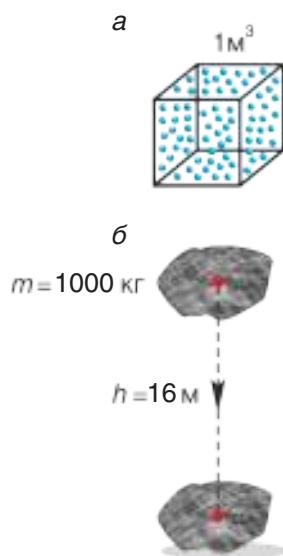
§ 1.

Унутраная энергія

Вы ведаеце, што цела, якое рухаецца, валодае кінетычнай энергіяй. А калі яно яшчэ і ўзаемадзейнічае з іншым целам, то валодае патэнцыяльнай энергіяй. Гэтыя абодва віды энергіі ўяўляюць сабой механічную энергію. Яны ўзаємна ператвараюцца: кінетычная энергія можа пераходзіць у патэнцыяльную і наадварот. Акрамя таго, вы ведаеце, што любое цела мае дыскрэтную структуру, г. зн. складаецца з часціц (атамаў, малекул). Часціцы знаходзяцца ў бесперапынным хаатычным руху. А часціцы вадкасці і цвёрдага цела яшчэ і ўзаемадзейнічаюць паміж сабой. Такім чынам, часціцы валодаюць кінетычнай, а часціцы вадкасці і цвёрдых цел — яшчэ і патэнцыяльнай энергіяй. **Сума кінетычнай і патэнцыяльнай энергій усіх часціц цела называецца ўнутранай энергіяй.** Унутраная энергія вымяраецца ў джоўлях. Чым адрозніваецца ўнутраная энергія ад механічнай? У чым яе асаблівасці? Ці можа механічная энергія пераходзіць ва ўнутраную?



Мал. 1



Мал. 2

Для адказу на гэтыя пытанні разгледзім прыклад. Шайба, якая рухалася гарызантальна па лёдзе (мал. 1), спынілася. Як змянілася яе механічная энергія адносна лёду? Кінетычная энергія шайбы паменшылася да нуля. Становішча шайбы над узроўнем лёду не змянілася, шайба не дэфармавалася. Значыць, змяненне патэнцыяльнай энергіі роўна нулю. Ці азначае гэта, што яе механічная (кінетычная) энергія знікла бяследна? Не. Механічная энергія шайбы перайшла ва ўнутраную энергію шайбы і лёду.

А ці можа ўнутраная энергія цела, як механічная, быць роўна нулю? Рух часціц, з якіх складаецца цела, не спыняецца нават пры самых нізкіх тэмпературах. Значыць, цела заўсёды (падкрэсліваем, заўсёды) мае некаторы запас унутранай энергіі. Яго можна або павялічыць, або паменшыць — і толькі!

Ці вялікае значэнне ўнутранай энергіі цела? Энергія адной часціцы, напрыклад кінетычная, з прычыны нязначнасці яе масы надзвычай малая. Разлікі для сярэдняй энергіі паступальнага руху малекулы кіслароду паказваюць, што яе значэнне

пры пакаёвай тэмпературы $\langle K_0 \rangle \approx 6 \cdot 10^{-21}$ Дж. Вядома ж, гэта вельмі малая велічыня. Цяпер знойдзем кінетычную энергію ўсіх малекул газападобнага кіслароду, якія змяшчаюцца ў аб'ёме 1 м^3 (мал. 2, а). Пры нармальным атмасферным ціску ў 1 м^3 колькасць малекул $n \approx 2,7 \cdot 10^{25}$, тады $K = \langle K_0 \rangle n = 6 \cdot 10^{-21} \text{ Дж} \cdot 2,7 \cdot 10^{25} \approx 0,16 \text{ МДж}$. Гэта значэнне энергіі ўжо вельмі вялікае. Яно, напрыклад, роўна механічнай энергіі каменя масай $m = 1 \text{ т}$, паднятага на вышыню $h = 16 \text{ м}$ (мал. 2, б).

Галоўныя вывады

1. Незалежна ад таго, ці ёсць у цела механічная энергія ці няма, яно валодае ўнутранай энергіяй.
2. Унутраная энергія цела роўна суме кінетычнай і патэнцыяльнай энергій часціц, з якіх яно складаецца.
3. Унутраная энергія цела заўсёды не роўна нулю.

? Кантрольныя пытанні

1. Што ўяўляе сабой унутраная энергія цела?
2. У якіх адзінках у СІ вымяраецца ўнутраная энергія?
3. Чым прынцыпова адрозніваецца ўнутраная энергія цела, якое знаходзіцца ў цвёрдым, вадкім і газападобным станах?
4. Ці можа механічная энергія ператварацца ва ўнутраную? Прывядзіце прыклады.

Практыкаванне 1

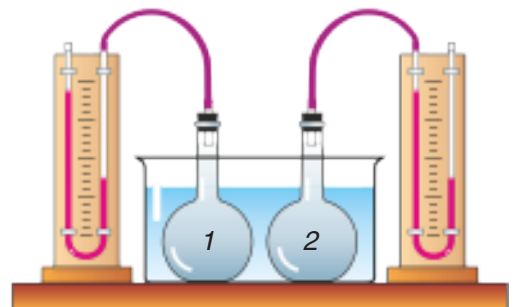
1. Ці можа цела валодаць унутранай энергіяй і не мець пры гэтым механічнай? А наадварот? Прывядзіце прыклады.

2. Ці аднолькавыя ўнутраныя энергіі дадзенай масы золата, якое знаходзіцца ў цвёрдым і расплаўленым станах? Тэмпературы абодвух станаў аднолькавыя.



3. Ці роўныя ўнутраныя энергіі паветра, якое запаўняе дзве аднолькавыя колбы 1 і 2 (мал. 3), апушчаныя ў ваду? Чаму?

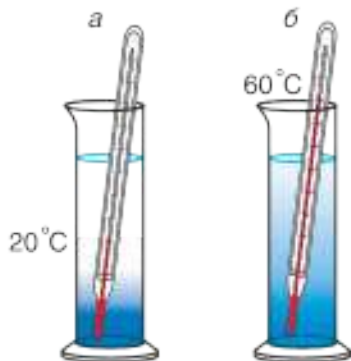
4. З якіх відаў энергіі складаецца ўнутраная энергія дадзенай масы паветра, калі яно знаходзіцца: а) у пакоі пры нармальным атмасферным ціску; б) у балоне ў вадкім стане?



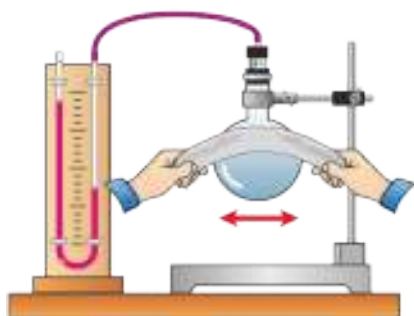
Мал. 3

§ 2.

Спосабы змянення ўнутранай энергіі



Мал. 4



Мал. 5



Мал. 6

Каб змяніць механічную энергію цела, трэба змяніць скорасць яго руху, узаемадзеянне з іншымі цэламі або ўзаемадзеянне частак цела. Вы ўжо ведаеце, што гэта дасягаецца выкананнем работы.

Як можна змяніць (павялічыць або паменшыць) унутраную энергію цела? Будзем разважаць лагічна. Унутраная энергія вызначаецца як сума кінетычнай і патэнцыяльнай энергій часціц. Значыць, трэба змяніць або скорасць руху часціц, або іх узаемадзеянне (змяніць адлегласці паміж імі). Відавочна, можна змяніць і скорасць, і адлегласці паміж часціцамі адначасова. Змяніць скорасць часціц цела можна, павялічыўшы або паменшыўшы яго тэмпературу. Сапраўды, назіранні за дыфузіяй паказваюць, што хуткасць яе працякання павялічваецца пры нагрыванні (мал. 4, а, б). Павялічваецца сярэдняя скорасць руху часціц, а значыць, іх сярэдняя кінетычная энергія.

Адсюль вынікае важны вывад: **тэмпература з'яўляецца мерай сярэдняй кінетычнай энергіі часціц.**

Як змяніць кінетычную энергію часціц цела? Існуюць два спосабы. Разгледзім іх на доследах.

Будзем націраць колбу з паветрам палоскай сукна (мал. 5). Праз некаторы час узровень вадкасці ў правым калене манометра (гл. мал. 5) апусціцца, г. зн. ціск паветра ў колбе павялічыцца. Гэта сведчыць аб нагрыванні паветра. Такім чынам, павялічылася скорасць руху і кінетычная энергія яго малекул, а значыць, і ўнутраная энергія. Але за кошт чаго? Відавочна, за кошт выканання механічнай работы пры трэнні сукна аб колбу. Нагрэлася колба, а ад яе — газ.

Правядзём яшчэ адзін дослед. У таўстасценную шкляную пасудзіну нальём крыху вады

(чайную ложку) для ўвільгатнення паветра ў ёй. Помпай (мал. 6) будзем напампоўваць у пасудзіну паветра. Праз некалькі пампаванняў корак вылеціць, а ў пасудзіне ўтворацца туман. З назіранняў за навакольным асяроддзем мы ведаем, што туман з'яўляецца тады, калі пасля цёплага дня надыходзіць халодная ноч. Утварэнне туману ў пасудзіне сведчыць аб ахаладжэнні паветра, г. зн. аб памяншэнні яго ўнутранай энергіі. Але чаму паменшылася энергія? Таму што за кошт яе была выканана работа па выштурхванні корка з пасудзіны.

Параўнаем вынікі доследаў. У абодвух выпадках змянілася ўнутраная энергія газу, але ў першым доследзе яна павялічылася, паколькі работа выконвалася знешняй сілай (над колбай з газам), а ў другім — паменшылася, бо работу выконвала сіла ціску самога газу.

А ці можна, выконваючы работу, змяніць патэнцыяльную энергію ўзаемадзеяння малекул?

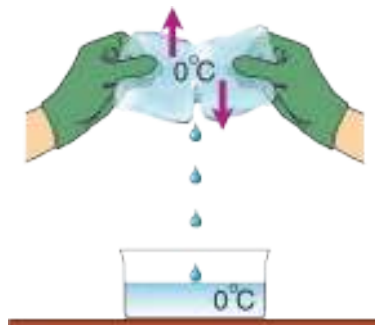
Зноў звернемся да доследу. Два кавалкі лёду пры 0°C будзем церці адзін аб аднаго (мал. 7). Лёд ператвараецца ў ваду, пры гэтым тэмпература вады і лёду застаецца пастаяннай, роўнай 0°C (гл. мал. 7). На што ідзе механічная работа сілы трэння?

Вядома ж, на змяненне ўнутранай энергіі! Але кінетычная энергія малекул не змянілася, паколькі тэмпература не змянілася. Лёд ператварыўся ў ваду. Пры гэтым змяніліся сілы ўзаемадзеяння малекул H_2O (нагадаем, што лёд і вада складаюцца з аднолькавых малекул), а значыць, змянілася іх патэнцыяльная энергія.

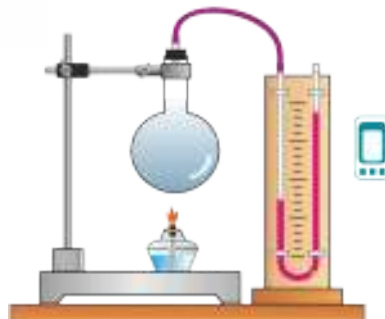
Выкананне механічнай работы — адзін са спосабаў змянення ўнутранай энергіі цела.

А ці ёсць магчымасць змяніць унутраную энергію цела, не выконваючы механічную работу? Так, ёсць. Нагрэць паветра ў колбе (мал. 8), расплавіць лёд (мал. 9) можна з дапамогай спіртоўкі, перадаўшы і паветру, і лёду цеплату. У абодвух выпадках унутраная энергія павялічваецца.

Пры ахаладжэнні цел (калі колбы з лёдам і паветрам змясціць у маразільнік) іх унутраная энергія памяншаецца. Цеплата ад цел перадаецца навакольнаму асяроддзю.



Мал. 7



Мал. 8



Мал. 9

Працэс змянення ўнутранай энергіі цела, які адбываецца без выканання работы, называецца цеплаперадачай (цеплаабменам).

Такім чынам, выкананне механічнай работы і цеплаперадача — два спосабы змянення ўнутранай энергіі цела.

Велічыню, роўную змяненню ўнутранай энергіі пры цеплаперадачы, называюць **колькасцю цеплаты** (абазначаецца Q). Адзінкай колькасці цеплаты, як работы і энергіі, у СІ з'яўляецца **1 джоўль**.



Для дапытлівых

Фізікі XVIII ст. і першай паловы XIX ст. разглядалі цеплату не як змяненне энергіі, а як асобае рэчыва — цепларод — вадкасць (флюід), якая можа перацякаць ад аднаго цела да другога. Калі цела награвалася, то лічылася, што ў яго ўліваўся цепларод, а калі ахаладжвалася — то выліваўся. Пры награванні целы расшыраюцца. Гэта тлумачылася тым, што цепларод мае аб'ём. Але калі цепларод — рэчыва, то целы пры награванні павінны павялічваць сваю масу. Аднак узважванні паказвалі, што маса цела не змянялася. Таму цепларод лічылі бязважкім. Тэорыю цеплароду падтрымлівалі многія навукоўцы, у тым ліку і такі геніяльны вучоны, як Г. Галілей. Пазней Дж. Джоўль на падставе праведзеных ім доследаў прышоў да высновы, што цепларод не існуе і што цеплата ёсць мера змянення кінетычнай і патэнцыяльнай энергій часціц цела, якія рухаюцца.

У далейшым выраз «перадаць целу колькасць цеплаты» мы будзем разумець як «змяніць унутраную энергію цела без выканання механічнай работы, г. зн. шляхам цеплаабмену». А выраз «нагрэць цела» будзем разумець як «павысіць яго тэмпературу» любым з двух спосабаў.



Галоўныя вывады

1. Унутраную энергію цела можна змяніць шляхам выканання механічнай работы або цеплаперадачы (цеплаабмену).
2. Змяненне ўнутранай энергіі пры награванні або ахаладжэнні цела пры пастаянным аб'ёме звязана са змяненнем сярэдняй кінетычнай энергіі яго часціц.
3. Змяненне ўнутранай энергіі цела пры нязменнай тэмпературы звязана са змяненнем патэнцыяльнай энергіі яго часціц.



Кантрольныя пытанні

1. Якімі спосабамі можна змяніць унутраную энергію цела?
2. Як змяняецца ўнутраная энергія цела, калі яго: а) нагрываць; б) ахаладжваць?
3. Ці можна змяніць унутраную энергію цела, не змяняючы яго тэмпературу? Прывядзіце прыклады.
4. Якая з'ява называецца цеплаперадачай (цеплаабменам)?
5. Што такое колькасць цеплаты і ў чым яна вымяраецца?



Дамашняе заданне

Вазьміце кавалак алюмініевага дроту і хутка сагніце яго некалькі разоў. Пасля гэтага дакраніцеся пальцам да месца выгіну. Растлумачце, як і чаму змянілася ўнутраная энергія дроту.

Практыкаванне 2

1. Як і якім спосабам змяняецца ўнутраная энергія: а) свёрдла пры свідраванні адтуліны ў бетоннай сцяне; б) пакета малака, змешчанага ў халадзільнік?

2. Калі цела нагрэлася, то яго ўнутраная энергія павялічылася. Ці будзе правільным адваротнае сцверджанне: калі ўнутраная энергія цела павялічылася, то яно нагрэлася? Прывядзіце прыклады, якія пацвярджаюць адказ.

3. Адзін металічны цыліндр нацерлі кавалкам сукна, выканаўшы работу $A_1 = 1$ Дж, а другі такі ж самы цыліндр паднялі ўверх, выканаўшы работу $A_2 = 1$ Дж. Ці аднолькава змянілася іх унутраная энергія? Чаму?



4. Графік залежнасці тэмпературы знадворнага паветра ад часу сутак прадстаўлены на малюнку 10. У якія прамежкі часу ўнутраная энергія забытых на вуліцы канькоў змянялася найбольш моцна?

5. Ці змянілася ўнутраная энергія эспандара, калі яго расцягнулі (мал. 11)?



Мал. 10



Мал. 11



§ 3.

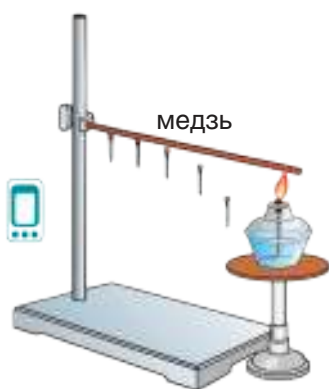
Цеплаправоднасць

У папярэднім параграфе мы дамовіліся гаварыць аб колькасці цеплаты толькі ў тым выпадку, калі ўнутраная энергія цела змяняецца без выканання работы, г. зн. шляхам цеплаперадачы (цеплаабмену). Якія віды цеплаперадачы існуюць у прыродзе?

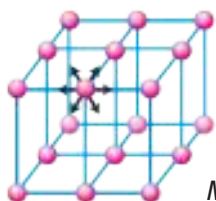
Усім нам вядома, што цеплата можа «падарожнічаць» з аднаго месца на другое. Пры размешванні вугалёў металічным стрыжнем (мал. 12) нагрэваецца і той яго канец, які не знаходзіцца ў полымі. Верхняя частка лыжкі, апушчанай у гарачы чай, нагрэваецца, хоць



Мал. 12



Мал. 13



Мал. 14

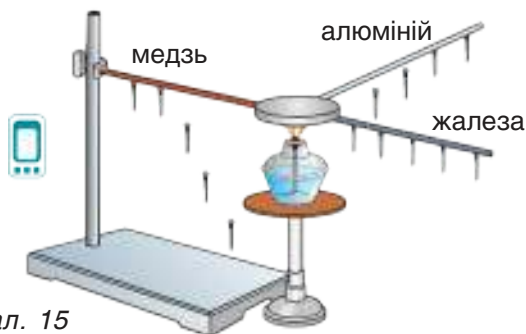
непасрэдна ў чаі не знаходзіцца. У абодвух выпадках адбываецца перанос энергіі ад больш нагрэтых частак цела да менш нагрэтых. Прыкладзіце самастойна прыклады падобнага пераносу.

Як адбываецца перанос энергіі?

Правядзем дослед. Да меднага стрыжня пласцілінам прымацуем некалькі аднолькавых цвікоў (можна палачак) (мал. 13). Свабодны канец стрыжня будзем нагрэваць у полымі спіртоўкі. Мы заўважым, што спачатку адпадуць цвікі, якія знаходзяцца бліжэй да полымя, а потым па чарзе ўсе астатнія. Чаму так адбываецца?

У цвёрдым цэле (метале) часціцы ўзаемадзейнічаюць: прыцягваюцца або адштурхваюцца. Пры гэтым яны выконваюць вагальныя рухі (мал. 14). У полымі спіртоўкі тэмпература свабоднага канца меднага стрыжня павышаецца. А гэта значыць, павялічваецца сярэдняя кінетычная энергія вагальнага руху яго часціц. Паколькі часціцы ўзаемадзейнічаюць, то ўзмацняюцца ваганні і суседніх часціц, а ад іх — наступных і гэтак далей па ўсім стрыжні. Заўважым, што пры гэтым спосабе цеплаперадачы перанос самога рэчыва не адбываецца.

Працэс пераносу цеплаты (энергіі) ад больш нагрэтых цел або частак цела да больш халодных у выніку цеплавога руху і ўзаемадзеяння часціц называецца цеплаправоднасцю.



Мал. 15



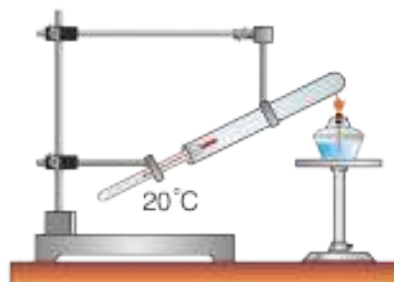
Мал. 16

Перанос энергіі адбываецца да таго часу, пакуль тэмпература не стане аднолькавай па ўсім целе.

У розных рэчываў цеплаправоднасць неаднолькавая (мал. 15). Цеплаправоднасць медзі большая, чым цеплаправоднасць алюмінію і жалеза. Малую цеплаправоднасць маюць пластмаса, драўніна, шкло. Менавіта таму драўляныя дамы добра захоўваюць цеплату. Ручкі каструль робяць з пластмасы, а паяльнікаў — з дрэва (мал. 16). Пластмаса, дрэва і іншыя матэрыялы, якія слаба праводзяць цеплату, называюцца *цеплаізалятарамі*.

А ці могуць праводзіць цеплату газы?

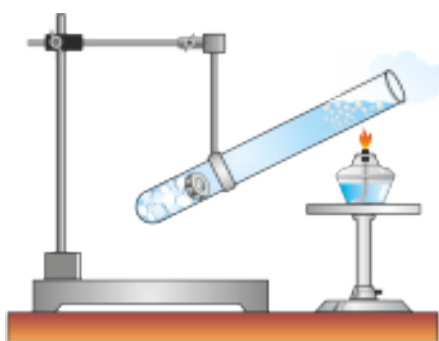
Правядзём дослед: змесцім у адкрыты канец прабірки тэрмометр (мал. 17) і будзем награвальваць прабірку з процілеглага боку. Награванне паветра ідзе вельмі павольна, што пацвярджаецца малым павышэннем тэмпературы. Чым тлумачыцца слабая цеплаправоднасць газаў? Успомніце, што сілы ўзаемадзеяння малекул газаў пры нармальным ціску практычна роўны нулю. Значыць, энергія пераносіцца толькі за кошт хаатычнага руху малекул і сутыкненняў паміж імі. Цеплаправоднасць паветра амаль у 10 000 разоў меншая за цеплаправоднасць медзі. Цяпер вы можаце растлумачыць, чаму для ўцяплення кватэр, пабудовы для жывёлы выкарыстоўваюць порыстыя рэчывы, якія змяшчаюць паветра: пенапласт, лямец. Вата, шэрсць, пух, футра і іншыя падобныя матэрыялы ўтрымліваюць паміж валокнамі паветра і таму з'яўляюцца добрай аховай ад холаду для жывёл, чалавека і птушак (мал. 18).



Мал. 17



Мал. 18



Мал. 19

А якая цеплаправоднасць вадкасцей? Возьмем прабірку з кавалачкамі лёду і вадой і будзем яе нагрываць (мал. 19). Калі вада ў верхняй частцы прабірки закіпіць, у ніжняй — яшчэ будзе лёд. Гэта сведчыць аб малой цеплаправоднасці вады, хоць яна большая, чым цеплаправоднасць паветра. Сапраўды, цеплаправоднасць вады прыкладна ў 25 разоў вышэйшая, чым паветра, але прыблізна ў 330 разоў меншая за цеплаправоднасць медзі. Металы ў вадкім стане (ртуць, волава і інш.) валодаюць вялікай цеплаправоднасцю.

Галоўныя вывады

1. Цеплаправоднасць абумоўлена хаатычным рухам і ўзаемадзеяннем часціц.
2. Пры цеплаправоднасці не адбываецца перанос рэчыва.
3. Перанос энергіі ідзе ад больш нагрэтых цел або частак цела да менш нагрэтых. Працэс доўжыцца да таго моманту, пакуль тэмпература не стане аднолькавай па ўсім целе.

? Кантрольныя пытанні

1. Што называецца цеплаправоднасцю?
2. Чым адрозніваюцца механізмы пераносу цеплаты шляхам цеплаправоднасці ў цвёрдых целах і газах?
3. Ці будзе змяняцца цеплаправоднасць паветра пры яго расшырэнні? Сцісканні? Чаму?
4. Колькі доўжыцца працэс пераносу цеплаты (энергіі) пры кантакце двух цел, якія маюць розныя пачатковыя тэмпературы?
5. Ці магчыма цеплаправоднасць у моцна разрэджаных газах?



→ Дамашняе заданне

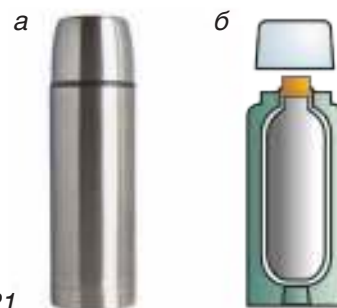
Вазьміце дзве прыкладна аднолькавыя па масе спіцы: пластмасавую і металічную — і апусціце іх адным канцом у шклянку з гарачай вадой. Праз мінуту дакраніцеся да свабодных канцоў спіц. Растлумачце вынік доследу.

Практыкаванне 3

1. Чаму посуд для прыгатавання ежы (мал. 20) вырабляюць з матэрыялаў, якія добра праводзяць цеплату (сталі, чыгуну)?



Мал. 20



Мал. 21

2. Сёння ў нашых дамах ставяць вокны з двухкамернымі шклопакетамі, а ў Якуціі — з трох- і нават пяцікамернымі. Чаму?

3. Прааналізуйце выраз: «Шуба грэе чалавека». Хто каго грэе?

4. Чаму пры вымярэнні тэмпературы цела медыцынскі ртутны тэрмометр трэба трымаць у кантакце з целам не менш за 5—7 мін?

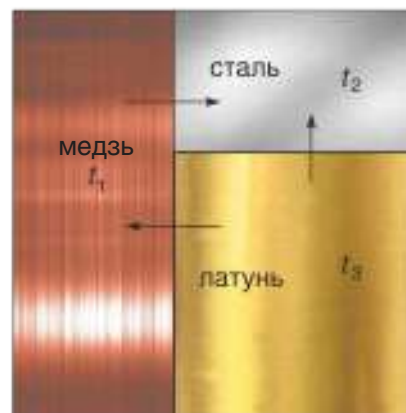
5. Чаму сталёныя нажніцы навобмацак здаюцца больш халоднымі, чым драўляны аловак, які знаходзіцца ў тым жа пакоі? Ці аднолькавая іх тэмпература?

6. Шчыльнасць аднаго кавалка пенапласту $\rho_1 = 20 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, а другога — $\rho_2 = 50 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. Ці аднолькавая цеплаправоднасць кавалкаў пенапласту?



7. Чаму ў тэрмасе (мал. 21, а) доўга застаюцца гарачымі чай, кава? Навошта адпампоўваюць паветра з прасторы паміж двайнымі сценкамі тэрмаса (мал. 21, б)?

8. Латунны, медны і сталёны брускі з рознымі пачатковымі тэмпературамі прывялі ў судакрананне. На малюнку 22 стрэлкамі паказаны напрамак цеплаперадачы паміж імі. Параўнайце пачатковыя тэмпературы брускоў.



Мал. 22



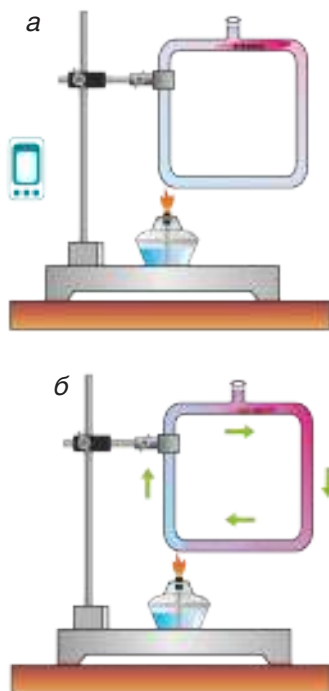
Мал. 23

9. Зімой курапаткі, ратуючыся ад маразоў, закопваюцца ў снег (мал. 23). Чаму снег засцерагае курапатак ад замярзання?



§ 4.

Канвекцыя



Мал. 24



Мал. 25



Мал. 26

Звярніце ўвагу на месца награвальнага элемента ў электрачайніку. Ён размешчаны ўнізе, каля дна. Тым не менш вада награвецца па ўсім аб'ёме. Як гэта адбываецца? Як награвецца паветра ва ўсім пакоі, калі ацяпляльныя батарэі стаяць унізе каля падлогі? Гэта адбываецца за кошт канвекцыі. Што ж такое канвекцыя?

Звернемся да доследу. У трубку з халоднай вадой апусцім некалькі крышталікаў марганцоўкі. Будзем нагрываць трубку знізу (мал. 24). Мы ўбачым, як нагрэтыя ніжнія пласты вады паднімаюцца ўверх. Верхнія пласты, як больш халодныя, а значыць, больш шчыльныя, апускаюцца ўніз, нагрываюцца і накіроўваюцца ўверх. Праз некаторы час вада нагрэецца па ўсім аб'ёме трубки. Так ідзе перанос цеплаты (энергіі) у вадкасцях.

Назіраць перанос цеплаты (энергіі) у газах, напрыклад у паветры, можна, правёўшы такі дослед. Запалім свечку. Нагрэтае над полымем свечкі паветра перамяшчаецца ўверх (мал. 25). Паставіўшы на яго шляху пластмасавую пласцінку, можна змяніць напрамак патоку, што бачна на экране.

Аб'ём вадкасцей і газаў пры нагрыванні павялічваецца, а шчыльнасць памяншаецца. Яны становяцца лягчэйшымі, паднімаюцца ўверх, пераносячы з сабой энергію, што прыводзіць да выраўноўвання тэмпературы па ўсім аб'ёме вадкасці або газу.

Перанос энергіі ў вадкасцях і газах патокамі рэчыва называецца канвекцыяй.

А ці магчыма канвекцыя ў цвёрдых целах? Вядома, не, паколькі ў цвёрдым целе рэчыва не можа перамяшчацца па аб'ёме. Успомніце жорсткую структуру алмазу (мал. 26).

Дзякуючы канвекцыі ствараецца неабходная для поўнага згарання паліва цяга. Яна надзвычай

важная для добрай працы хатніх печаў і камінаў. Для стварэння цягі нават невялікія кацельні маюць трубы вышынёй у некалькі дзясяткаў метраў. Трубы адной з найбуйнейшых у Еўропе Новалукомскай цеплаэлектрастанцыі маюць вышыню 250 м кожная (мал. 27).



Мал. 27

Прыкладам выкарыстання канвекцыі з'яўляецца сістэма вадзянога ацяплення (мал. 28). Нагрэтая (у кацельні або цеплаэлектрацэнтралі — ЦЭЦ) вада па трубаправодах паступае ў будынак. Па вертыкальнай трубе (стаяку) гарачая вада паднімаецца ўверх, трапляе ў ацяпляльныя батарэі (радыатары). Батарэі аддаюць энергію паветру ў памяшканні, вада ў іх астывае. Астылая вада з батарэй па другой трубе вяртаецца назад. Ацяпляльныя батарэі стаяць унізе (пад вокнамі) і шляхам канвекцыі награвваюць паветра па ўсім аб'ёме памяшкання. Дзякуючы канвекцыі награвецца вада ў каструлі на пліце.



Мал. 28

▼ Для дапытлівых

Канвекцыяй тлумачацца начныя і дзённыя брыз — вятры, якія ўзнікаюць на берагах мораў і акіянаў. У сонечны летні дзень паветра над сушай, цяплейшае, чым над вадой, імкнецца ўгору. Гэта выклікае паніжэнне ціску над сушай, куды з мора перамяшчаецца халоднае паветра. Так утвараецца *дзённы брыз*. Самаястойна вызначыце напрамак і прычыны *начнога брыз*.

■ Галоўныя вывады

1. Канвекцыя — спосаб перадачы цеплавой энергіі патокамі газу або вадкасці.
2. Пры канвекцыі адбываецца перанос рэчыва — вадкасці або газу.
3. Канвекцыя немагчыма ў цвёрдых целах.

? Кантрольныя пытанні

1. Што ўяўляе сабой канвекцыя?
2. Чаму канвекцыя немагчыма ў цвёрдых целах?
3. Ці можна сказаць, што ахаладжэнне пакоя пры дапамозе адкрытай форці выклікана канвекцыяй?
4. Што агульнае і рознае маюць з'явы канвекцыі і цеплаправоднасці?



§ 5.

Выпраменьванне



Мал. 29

У халодным памяшканні мы распальваем камін (мал. 29) і, уладкаваўшыся насупраць, атрымліваем задавальненне ад цяпла, што ідзе ад яго. Але як у дадзеным выпадку перадаецца да нас цеплавая энергія? Ні цеплаправоднасць, ні канвекцыя не могуць быць прычынамі такой перадачы энергіі, бо цеплаправоднасць у паветра вельмі малая, а канвекцыйныя патокі рухаюцца ўверх.



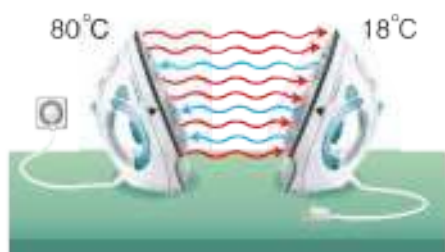
Мал. 30

Існуе яшчэ адзін спосаб цеплаперадачы — **выпраменьванне**, які магчымы і там, дзе няма асяроддзя (напрыклад, у космасе). Выпраменьваннем да Зямлі пераносіцца цеплата ад такой магутнай крыніцы, як Сонца. Вогнішча (мал. 30), напаленая печ, камін і інш. — усё гэта прыклады крыніц, якія разам з канвекцыяй і цеплаправоднасцю перадаюць энергію больш халодным цэлам шляхам выпраменьвання.

Любое цела выпраменьвае і паглынае энергію. У выніку цеплаабмену перанос энергіі (цеплаты) ідзе ад больш нагрэтага цела да менш нагрэтага. «Халоднае» цела таксама выпраменьвае энергію, але менш, чым паглынае (мал. 31). «Гарачае» ж цела, наадварот, выпраменьвае энергіі больш, чым паглынае. У выніку «гарачае» цела ахалоджваецца, а «халоднае» — награвяецца.

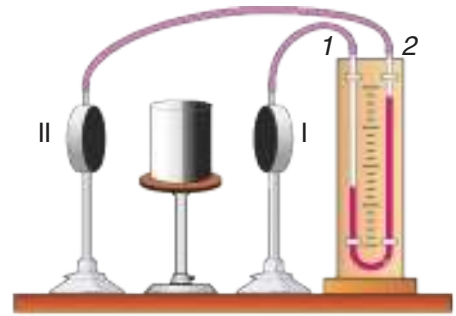
Механізм выпраменьвання складаны. З ім вы пазнаёміцеся ў 11-м класе. Цяпер падкрэслім тое, што пры выпраменьванні адбываецца перанос энергіі не часціцамі рэчыва, а электрамагнітнымі хвалямі. Менавіта таму для выпраменьвання не патрабуецца асяроддзе.

Ад чаго залежыць, наколькі эфектыўна будзе адбывацца выпраменьванне? Правядзём дослед. Два цеплапрыёмнікі злучым з каленамі манометра (мал. 32). Наблізім іх чорнымі бакамі да пасудзіны з гарачай вадой, адна палова якой чорная,



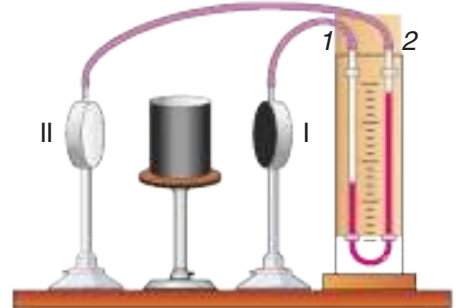
Мал. 31

а другая — белая. Узровень вадкасці ў калене 1 манометра стаў ніжэйшы, чым у калене 2. Значыць, ціск у цеплапрыёмніку I вышэйшы, чым у цеплапрыёмніку II. А гэта сведчыць аб тым, што паветра ў цеплапрыёмніку, павернутым да чорнай паверхні пасудзіны, нагрэлася мацней. Такім чынам, целы з цёмнай паверхняй выпраменьваюць больш энергіі (цеплаты), чым целы са светлай паверхняй. Таму целы з цёмнай паверхняй астываюць хутчэй, чым са светлай.



Мал. 32

А ці ёсць адрозненне ў паглыннанні энергіі гэтымі цэламі? Відазменім дослед. Да пасудзіны з гарачай вадой, уся паверхня якой чорная, павернем цеплапрыёмнікі рознымі бакамі: I — чорным, II — белым (мал. 33). Узровень вадкасці ў калене 1 манометра стаў ніжэйшы. Значыць, паветра ў цеплапрыёмніку, павернутым да пасудзіны чорным бокам, паглынула больш энергіі і нагрэлася мацней. Такім чынам, целы з цёмнай паверхняй паглынаюць больш энергіі, чым целы са светлай паверхняй, а таму і награвваюцца хутчэй.



Мал. 33

Цела, якое больш паглынае энергіі, больш і выпраменьвае.

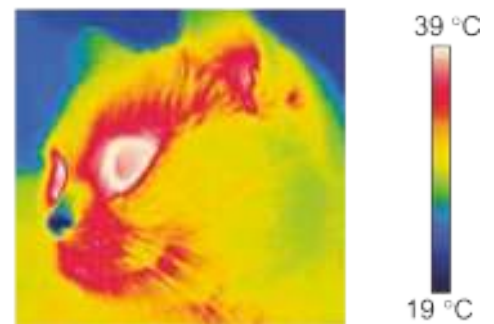
Гэты факт улічваецца ў тэхніцы і побыце. Самалёты, скафандры касманаўтаў (мал. 34), халадзільнікі, маразільныя камеры афарбоўваюць у серабрысты або светлыя колеры, каб яны менш награваліся. У спальні носяць светлае адзенне. Бак для душа на дачным участку афарбоўваюць у чорны колер, каб выкарыстоўваць сонечную энергію для награвання вады.



Мал. 34

Дастаткова моцна выпраменьваюць энергію целы чалавека і жывёл. Сучасныя прыборы (цеплавізары) дазваляюць не толькі зафіксаваць выпраменьванне, але і паказаць адрозненне выпраменьванняў участкаў цела, якія маюць розную тэмпературу. На здымку (мал. 35) прадстаўлены «цеплавы партрэт» ката.

У паўночных раёнах часам лёд на рэках афарбоўваюць з самалёта ў чорны колер яшчэ да наступлення паводкі, каб пазбегнуць бурнага крыгаходу.



Мал. 35

▼ Для дапытлівых

Адзначым важную ролю плошчы выпраменьваючай (або паглынаючай) паверхні. Паколькі цеплавое выпраменьванне адбываецца з кожнай адзінкі плошчы паверхні, то чым большая паверхня, тым больш выпраменьваецца (паглынаецца) цеплаты. Таму, напрыклад, радыатары вадзянога ацяплення (мал. 36) маюць складаную рабрыстую паверхню, хоць пры вытворчасці прасцей і танней было б вырабляць радыатары больш простых форм (прамавугольнай, цыліндрычнай). Вялікая плошча нагрэтага цела павялічвае цеплаперадачу і іншымі спосабамі — цеплаправоднасцю і канвекцыяй.



Мал. 36

■ Галоўныя вывады

1. Перанос энергіі ад больш нагрэтых цел да больш халодных можа ажыццяўляцца выпраменьваннем.
2. Выпраменьванне — адзіны спосаб цеплаперадачы, які не патрабуе наяўнасці асяроддзя.
3. Усе нагрэтыя целы не толькі выпраменьваюць, але і паглынаюць энергію.
4. Целы, афарбаваныя ў цёмныя колеры, больш паглынаюць і больш выпраменьваюць энергію, чым целы, якія маюць светлую афарбоўку.

? Кантрольныя пытанні

1. Як змяняецца тэмпература цела пры выпраменьванні энергіі? Пры паглыннанні цела энергіі?
2. Калі змяненне тэмпературы цела спынілася, ці азначае гэта, што цела больш не выпраменьвае?
3. Закончыце фразу: «Калі цела больш паглынае энергіі, то яно...».
4. Чым адрозніваецца перадача цеплаты выпраменьваннем ад іншых відаў цеплаперадачы?

➔ Дамашняе заданне

Вымерайце тэмпературу паветра ў вашай кватэры каля падлогі і столі. Ці супадаюць паказанні тэрмометра? Чаму?

Практыкаванне 4

1. Чаму фортакі робяць у верхняй частцы акна?

2. Што лепей зрабіць, каб хутчэй астудзіць бутэльку мінеральнай вады: паставіць яе на лёд або абкласці лёдам зверху?

3. Склеп — самае халоднае месца ў хаце. Чаму?

4. У якой з кававарак (мал. 37) аднолькавага аб'ёму вада закіпіць раней? Астыне раней?

5. Назавіце прычыны, па якіх снег у горадзе растае раней, чым у вёсцы.

6. Лёд тэмпературай $t_1 = -5^\circ\text{C}$ змясцілі ў маразільную камеру. Як будзе змяняцца яго тэмпература, калі тэмпература ў камеры: а) $t_2 = -10^\circ\text{C}$; б) $t_3 = -5^\circ\text{C}$; в) $t_4 = -1^\circ\text{C}$? Чаму?

7. Вагоны-рэфрыжэратары для перавозкі прадуктаў, якія хутка псуюцца (мяса, рыба, садавіна), маюць дваічныя сценкі. Прастору паміж сценкамі запаўняюць пенапластам, а вонкавыя паверхні афарбоўваюць у белы або жоўты колер. Якія фізічныя з'явы ўлічаны пры канструяванні вагонаў-рэфрыжэратараў?

8. Маша сцвярджае, што ў спякоту ў белым адзенні больш прахалодна, чым у чорным, паколькі яно паглынае менш сонечнай энергіі. Дзіма лічыць, што лепш насіць чорнае адзенне, паколькі яно больш выпраменьвае. Хто з іх мае рацыю? Чаму?



9. Чаму паверхню цыліндраў рухавіка матацыкла робяць рабрыстай (мал. 38)?

10. Пры гарэнні верхняя частка шырокай парафінавай свечкі размякчаецца і плавіцца (мал. 39). Якія віды цеплаперадачы адыгрываюць асноўную ролю пры перадачы энергіі ад полымя да парафіну?

11. Якім відам цеплаперадачы ажыццяўляецца: а) прагрэў ніжніх пластоў вады ў возеры ў летні сонечны дзень; б) ахаладжэнне вады ў возеры ў летнюю прахалодную ноч?



Мал. 37



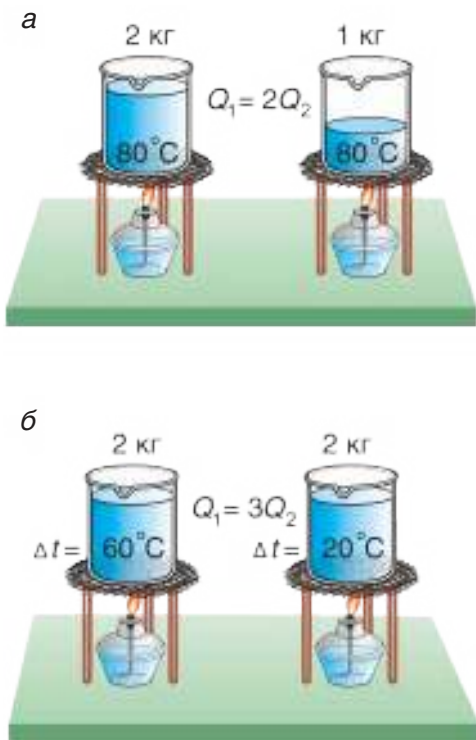
Мал. 38



Мал. 39

§ 6.

Разлік колькасці цеплаты пры награванні і ахаладжэнні. Удзельная цеплаёмістасць



Мал. 40

Вы ўжо ведаеце, што змяніць унутраную энергію цела можна перадачай яму колькасці цеплаты. Як звязана змяненне ўнутранай энергіі цела, г. зн. колькасць цеплаты, з характарыстыкамі самога цела?

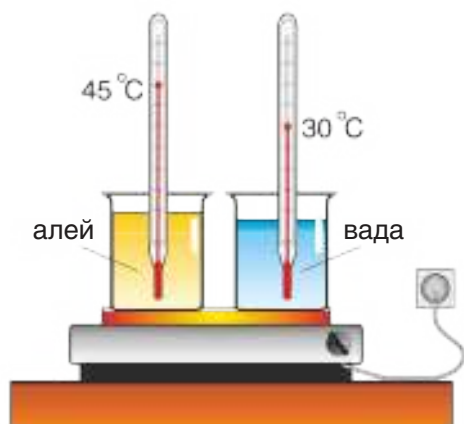
Унутраная энергія цела ёсць сумарная энергія ўсіх яго часціц. Значыць, калі масу дадзенага цела павялічыць у два або тры разы, то і колькасць цеплаты, неабходная для яго награвання на адзін і той жа лік градусаў, павялічыцца ў два або тры разы. Напрыклад, на награванне двух кілаграмаў вады ад 20°C да 80°C спатрэбіцца ў два разы больш цеплаты, чым на награванне аднаго кілаграма вады (мал. 40, а).

Відавочна таксама, што для награвання вады на $\Delta t = 60^{\circ}\text{C}$ трэба перадаць ёй у 3 разы большую колькасць цеплаты, чым для награвання на $\Delta t = 20^{\circ}\text{C}$ (мал. 40, б).

З гэтых разважанняў вынікае пацверджаны доследамі вывад: **колькасць цеплаты, неабходная для награвання цела, прама прапарцыянальна яго масе і змяненню тэмпературы.**

А ці залежыць колькасць цеплаты, якая ідзе на награванне, ад роду рэчыва, якое награвецца? Для адказу на гэта пытанне правядзём дослед.

У дзве аднолькавыя шклянкі нальём па 150 г алею і вады. Змесцім у іх тэрмометры і паставім на награвальнік (мал. 41). Атрымаўшы за аднолькавы час ад награвальніка роўную з вадой колькасць цеплаты, алею нагрэўся больш, чым вада. Значыць, для змянення тэмпературы алею на адну і тую ж велічыню патрабуецца менш цеплаты, чым для змянення тэмпературы такой жа масы вады. Таму для ўсіх рэчываў уводзяць спецыяльную велічыню — удзельную цеплаёмістасць рэчыва. Гэту велічыню абазначаюць літарай c (ад лац.



Мал. 41

capacity — ёмістасць, умяшчальнасць). Цяпер мы можам запісаць строгую формулу для колькасці цеплаты, неабходнай для награвання:

$$Q = cm(t_2 - t_1).$$

Выразім з гэтай формулы c :

$$c = \frac{Q}{m(t_2 - t_1)}.$$

Удзельная цеплаёмістасць ёсць фізічная велічыня, лікава роўная колькасці цеплаты, якую неабходна перадаць 1 кг дадзенага рэчыва, каб змяніць яго тэмпературу на 1 °С. Удзельная цеплаёмістасць вымяраецца ў джоўлях на кілаграм-градус Цэльсія $\left(\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{С}}\right)$.

▼ Для дапытлівых

Часта формулу $Q = cm(t_2 - t_1)$ запісваюць у выглядзе $Q = C(t_2 - t_1)$. Тут велічыня $C = cm$ называецца **цеплаёмістасцю цела** (звярніце ўвагу — не рэчыва). Яна лікава роўная колькасці цеплаты, неабходнай для награвання ўсёй масы цела на 1 °С. Вымяраецца цеплаёмістасць цела ў джоўлях на градус Цэльсія $\left(\frac{\text{Дж}}{^\circ\text{С}}\right)$.

У табліцы 1 прадстаўлены значэнні ўдзельнай цеплаёмістасці розных рэчываў (у розных станах). Як вынікае з гэтай табліцы, сярод вадкасцей максімальнае значэнне ўдзельнай цеплаёмістасці мае вада: для награвання 1 кг вады на 1 °С патрабуецца 4200 Дж цеплаты — гэта амаль у 2,5 раза больш, чым для награвання 1 кг алею, і ў 35 разоў больш, чым для награвання 1 кг ртуці.

Формула $Q = cm(t_2 - t_1)$ дае магчымасць знайсці і цеплату, якая вылучаецца пры ахаладжэнні цела. Паколькі канечная тэмпература t_2 астылага цела меншая за пачатковую t_1 , то змяненне тэмпературы выражаецца адмоўным лікам. Значыць, і колькасць цеплаты, вылучаемая цэлам, выражаецца адмоўным лікам, што азначае не рост, а памяншэнне ўнутранай энергіі цела.

У заключэнне заўважым, што пры цеплаабмене двух або некалькіх цел абсалютнае значэнне колькасці цеплаты, аддадзенай больш нагрэтым цэлам (цэламі), роўная колькасці цеплаты, атрыманай больш халодным цэлам (цэламі):

$$|Q_{\text{адд}}| = Q_{\text{атр}}.$$

Гэта роўнасць называецца *ўраўненнем цеплавога балансу* і выражае, па сутнасці, закон захавання энергіі. Яна справядлівая пры адсутнасці страт цеплаты.

Табліца 1. Удзельная цеплаёмістасць некаторых рэчываў

Рэчыва	$c, \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$	Рэчыва	$c, \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$
Цвёрдыя целы			
Алюміній	$920 = 9,2 \cdot 10^2$	Парафін	$3200 = 3,2 \cdot 10^3$
Бетон	$880 = 8,8 \cdot 10^2$	Плаціна	$130 = 1,3 \cdot 10^2$
Волава	$250 = 2,5 \cdot 10^2$	Пясок	$970 = 9,7 \cdot 10^2$
Дрэва	$2700 = 2,7 \cdot 10^3$	Свінец	$120 = 1,2 \cdot 10^2$
Жалеза, сталь	$460 = 4,6 \cdot 10^2$	Серабро	$250 = 2,5 \cdot 10^2$
Золата	$130 = 1,3 \cdot 10^2$	Цэгла	$750 = 7,5 \cdot 10^2$
Латунь	$380 = 3,8 \cdot 10^2$	Цэмент	$800 = 8,0 \cdot 10^2$
Лёд	$2100 = 2,1 \cdot 10^3$	Цынк	$400 = 4,0 \cdot 10^2$
Медзь	$380 = 3,8 \cdot 10^2$	Чыгун	$550 = 5,5 \cdot 10^2$
Нікель	$460 = 4,6 \cdot 10^2$	Шкло	$840 = 8,4 \cdot 10^2$
Вадкасці			
Алей	$1700 = 1,7 \cdot 10^3$	Гліцэрына	$2400 = 2,4 \cdot 10^3$
Ацэтон	$2200 = 2,2 \cdot 10^3$	Жалеза	$830 = 8,3 \cdot 10^2$
Вада	$4200 = 4,2 \cdot 10^3$	Ртуць	$120 = 1,2 \cdot 10^2$
Газа	$2140 = 2,14 \cdot 10^3$	Спірт этылавы	$2400 = 2,4 \cdot 10^3$
Газы (пры пастаянным ціску)			
Азот	$1000 = 1,0 \cdot 10^3$	Вуглякіслы газ	$830 = 8,3 \cdot 10^2$
Вадарод	$14\,300 = 1,43 \cdot 10^4$	Кісларод	$920 = 9,2 \cdot 10^2$
Вадзяная пара	$2200 = 2,2 \cdot 10^3$	Паветра	$1000 = 1,0 \cdot 10^3$

Галоўныя вывады

1. Колькасць цеплаты, неабходная для награвання цела (вылучаная пры ахаладжэнні), прама прапарцыянальна яго масе, змяненню тэмпературы цела і залежыць ад рэчыва цела.
2. Удзельная цеплаёмістасць рэчыва лікава роўна колькасці цеплаты, якую трэба перадаць 1 кг дадзенага рэчыва, каб змяніць яго тэмпературу на $1\text{ }^{\circ}\text{C}$.
3. Пры цеплаабмене колькасць цеплаты, аддадзеная больш гарачым целам, роўна па модулі колькасці цеплаты, атрыманай больш халодным целам, калі няма страт цеплаты.

Кантрольныя пытанні

1. Якая фізічная велічыня вызначае колькасць цеплаты, што вылучаецца пры ахаладжэнні на $\Delta t = 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ цела масай $m = 1\text{ кг}$? А цела масай m ?
2. У якіх адзінках выражаецца ўдзельная цеплаёмістасць рэчыва? Як гэта даказаць?
3. Удзельная цеплаёмістасць вады $c = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}}$. Што гэта азначае?
4. Чаму па формуле $Q = cm\Delta t$ можна разлічваць значэнне як колькасці цеплаты, неабходнай для награвання, так і колькасці цеплаты, вылучанай пры ахаладжэнні цела?
5. Што называецца ўраўненнем цеплавога балансу? Якую заканамернасць яно адлюстроўвае?

Дамашняе заданне

Наліце ў літровы слоік да паловы аб'ёму халоднай вады ($t_1 = 15\text{—}20\text{ }^{\circ}\text{C}$), дадайце гарачай вады ($t_2 = 60\text{—}70\text{ }^{\circ}\text{C}$), запоўніўшы аб'ём слоіка цалкам. Вымерайце тэмпературу вады ў слоіку. Зрабіце вывад.



Прыклад рашэння задачы

Для купання дзіцяці ў ванначку ўлілі халодную ваду масай $m_1 = 20\text{ кг}$ пры тэмпературы $t_1 = 12\text{ }^{\circ}\text{C}$. Якую масу гарачай вады пры тэмпературы $t_2 = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ трэба дадаць у ванначку, каб канчатковая тэмпература вады стала $t_3 = 37\text{ }^{\circ}\text{C}$? Удзельная цеплаёмістасць вады $c = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}}$.

Дадзена:

$$m_1 = 20 \text{ кг}$$

$$t_1 = 12 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 80 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_3 = 37 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$c = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$m_2 = ?$$

Рашэнне

Па законе захавання энергіі $Q_{\text{адд}} = Q_{\text{атр}}$. Адавала цеплату гарачая вада, змяняючы сваю тэмпературу ад $t_2 = 80 \text{ }^\circ\text{C}$ да $t_3 = 37 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$Q_{\text{адд}} = cm_2(t_2 - t_3).$$

Халодная вада атрымала гэту цеплату і нагрэлася ад $t_1 = 12 \text{ }^\circ\text{C}$ да $t_3 = 37 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$Q_{\text{атр}} = cm_1(t_3 - t_1).$$

Паколькі нас цікавіць толькі модуль $Q_{\text{адд}}$, то можна запісаць:

$$Q_{\text{адд}} = cm_2(t_2 - t_3).$$

Тады $cm_2(t_2 - t_3) = cm_1(t_3 - t_1)$, або $m_2(t_2 - t_3) = m_1(t_3 - t_1)$;

$$m_2 = \frac{m_1(t_3 - t_1)}{t_2 - t_3} = \frac{20 \text{ кг} \cdot (37 \text{ }^\circ\text{C} - 12 \text{ }^\circ\text{C})}{80 \text{ }^\circ\text{C} - 37 \text{ }^\circ\text{C}} \approx 12 \text{ кг}.$$

Пры рашэнні мы не ўлічвалі страты цеплаты на награванне ванныхкі, навакольнага паветра і г. д.

Магчымы і іншы варыянт рашэння.

Разлічым спачатку колькасць цеплаты, атрыманую халоднай вадой:

$$\begin{aligned} Q_{\text{атр}} &= cm_1(t_3 - t_1) = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 20 \text{ кг} \cdot (37 \text{ }^\circ\text{C} - 12 \text{ }^\circ\text{C}) = \\ &= 2\,100\,000 \text{ Дж} = 2,1 \text{ МДж}. \end{aligned}$$

Мяркуючы, што гэта цеплата ададзена гарачай вадой, запішам:

$Q_{\text{адд}} = cm_2(t_2 - t_3)$. Выразім шуканую масу:

$$m_2 = \frac{Q_{\text{адд}}}{c(t_2 - t_3)} = \frac{2\,100\,000 \text{ Дж}}{4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} (80 \text{ }^\circ\text{C} - 37 \text{ }^\circ\text{C})} \approx 12 \text{ кг}.$$

Адказ: $m_2 \approx 12 \text{ кг}$.

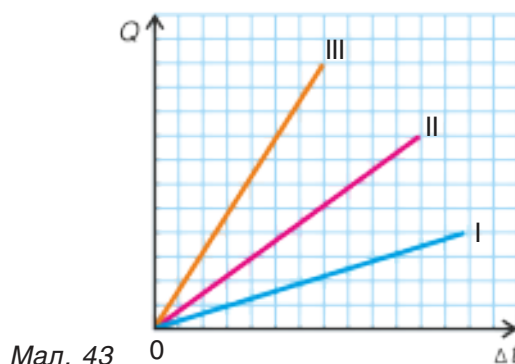
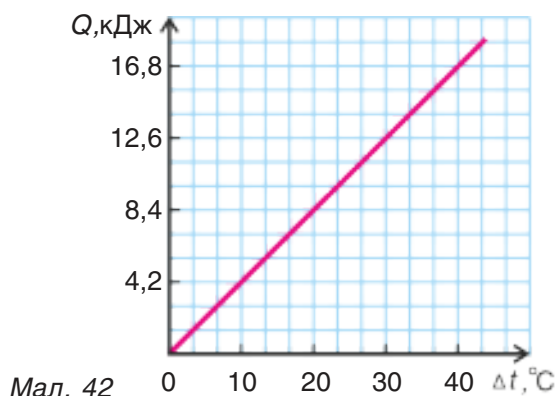
Практыкаванне 5

1. Чайная лыжка, атрымаўшы колькасць цеплаты $Q_1 = 690 \text{ Дж}$, нагрэлася на $\Delta t = 75 \text{ }^\circ\text{C}$. Якая колькасць цеплаты вылучыцца пры астыванні гэтай лыжкі на $|\Delta t| = 75 \text{ }^\circ\text{C}$?

2. Якая колькасць цеплаты спатрэбіцца, каб нагрэць да кіпення ваду аб'ёмам $V = 1,0 \text{ л}$ і тэмпературай $t = 15 \text{ }^\circ\text{C}$? Тэмпературу кіпення прыміце роўнай $t_k = 100 \text{ }^\circ\text{C}$.

3. З якога рэчыва выраблена статуэтка масай $m = 200$ г, калі на яе награванне ад тэмпературы $t_1 = 20$ °С да тэмпературы $t_2 = 30$ °С спатрэбілася колькасць цеплаты $Q = 500$ Дж?

4. Куранят пояць цёплай вадой, тэмпература якой $t = 33$ °С. Вызначыце аб'ём гарачай вады пры тэмпературы $t_1 = 81$ °С, які трэба змяшаць з халоднай вадой аб'ёмам $V_2 = 160$ мл пры тэмпературы $t_2 = 18$ °С, каб прыгатаваць вадку для піццы куранятам. Страты цеплаты не ўлічваць.



5. Які фізічны працэс адбываецца з рэчывам масай $m = 0,1$ кг? Графік працэсу паказаны на малюнку 42. Якое гэта рэчыва?

6. На малюнку 43 паказаны залежнасці колькасці цеплаты ад змянення тэмпературы для цел I, II і III аднолькавай масы, але вырабленых з розных рэчываў. Параўнайце ўдзельныя цеплаёмістасці рэчываў гэтых цел.

7. У металічную каструлю пры тэмпературы $t_0 = 10$ °С наліваюць 1 л гарачай вады, якая мае тэмпературу $t = 90$ °С. Пасля ўсталявання цеплавой раўнавагі тэмпература вады стала роўна $t_1 = 70$ °С. Затым у гэту ж каструлю даліваюць яшчэ 2 л гарачай вады, тэмпература якой $t = 90$ °С. Якая тэмпература ўсталюецца ў каструлі? Страты цеплаты не ўлічваць.



8. У алюмініевую пасудзіну масай $m_1 = 200$ г, якая ўтрымлівае вадку масай $m_2 = 0,92$ кг пры тэмпературы $t_2 = 10$ °С, апусцілі чыгунны цыліндр пры тэмпературы $t_3 = 50$ °С. У выніку цеплаабмену ўсталявалася тэмпература $t_4 = 30$ °С. Якая маса цыліндра, калі страты энергіі склалі 8,0 %?



§ 7.

Гарэнне. Удзельная цеплата згарання паліва



Мал. 44



Мал. 45



Мал. 46

Кожны з вас неаднаразова запальваў газавую гарэлку або распальваў печ, каб скіпяціць ваду, зварыць суп, г. зн. атрымаць энергію ад спальвання газу, дроў і перадаць яе ежы, што гатуецца.

Каб печ, камін «грэлі», трэба спаліць дровы (мал. 44), вугаль або торф. Энергія, якая вылучаецца пры іх згаранні, паглынаецца печчу, яе ўнутраная энергія павялічваецца, печ награвецца. Газ, вугаль, торф, дровы і інш. называюць **палівам**.

Велічыня, лікава роўная колькасці энергіі, якая вылучаецца пры поўным згаранні 1 кг паліва, называецца ўдзельнай цеплатой згарання паліва.

Абазначаецца ўдзельная цеплата згарання літарай q . Пры поўным згаранні 2 кг паліва вылучыцца энергіі (цеплаты) у два разы больш, а пры поўным згаранні m кг — у m разоў больш, г. зн.

$$Q = qm, \quad \text{адкуль} \quad q = \frac{Q}{m}.$$

Удзельная цеплата згарання вымяраецца ў **джоўлях на кілаграм** $\left(\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}\right)$.

Чаму пры гарэнні вылучаецца энергія? Вы ўжо ведаеце, што малекулы складаюцца з атамаў. Малекула — даволі ўстойлівая канструкцыя. Каб яе разбурыць, г. зн. падзяліць на атамы, трэба затраціць энергію. Затое пры ўтварэнні малекулы з атамаў энергія вылучаецца. У працэсе гарэння ўтвараюцца малекулы. Напрыклад, вуглярод, які ўваходзіць у склад паліва, злучаецца з двума атамамі кіслароду паветра. Утвараецца малекула вуглякіслага газу CO_2 (мал. 45). Пры гэтым вылучаецца энергія (цеплата Q).

У табліцы 2 прадстаўлены значэнні ўдзельнай цеплаты згарання q для розных відаў паліва. Прааналізуйце даныя табліцы 2. З яе вынікае,

што найбольшая колькасць цеплаты вылучаецца пры згаранні 1 м^3 газападобнага вадароду: $q = 120\,000\,000 \frac{\text{Дж}}{\text{м}^3} = 1,2 \cdot 10^8 \frac{\text{Дж}}{\text{м}^3}$.

▼ Для дапытлівых

Вадарод — адзін з высокаэнергетычных відаў паліва. Акрамя таго, прадуктам згарання вадароду з'яўляецца звычайная вада. Гэта робіць вадарод экалагічна найбольш чыстым палівам, што для нас вельмі важна. Аднак газападобны вадарод выбухованебяспечны. Да таго ж, ён мае самую малую шчыльнасць у параўнанні з іншымі газамі пры роўнай тэмпературы і ціску, што выклікае складанасці са звадкаваннем вадароду і яго транспарціроўкай. Тым не менш вадарод з'яўляецца перспектыўным відам паліва.

Пры згаранні іншых відаў паліва (напрыклад, торфу, мазуту, прыроднага газу) у атмасферу выкідваюцца шкодныя для здароўя чалавека і ўсяго жывога рэчывы (мал. 46): вуглякіслы і чадны газы, попел і топачныя шлакі, якія забруджваюць паветра, глебу і ваду. Менавіта ў сувязі з забруджваннем атмасферы шкоднымі прадуктамі згарання распрацоўка сацыяльных мерапрыемстваў па ахове навакольнага асяроддзя, праблема пошуку экалагічна чыстага паліва з'яўляюцца асабліва актуальнымі.

Табліца 2. Удзельная цеплата згарання розных відаў паліва

Рэчыва	$q, \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$	Рэчыва	$q, \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$
Цвёрдае			
Буры вугаль	9,3	Каменны вугаль маркі А-I маркі А-II	20,5 30,3
Драўняны вугаль	29,7	Кокс	30,3
Драўняныя цуркі	15,0	Порах	3,0
Дровы сухія	8,3	Торф	15,0
Вадкае			
Бензін	46,0	Мазут	40,0
Газа	43,0	Нафта	44,0
Дызельнае паліва	42,0	Спірт этылавы	27,0
Газападобнае, $\frac{\text{МДж}}{\text{м}^3}$ (для 1 м^3 пры нармальных умовах)			
Вадарод	120,0	Прыродны газ	35,5

Галоўныя вывады

1. Гарэнне — працэс злучэння атамаў розных рэчываў з кіслародам у выніку хімічнай рэакцыі, які суправаджаецца вылучэннем энергіі.
2. Удзельная цеплата згарання вызначае колькасць энергіі (цеплаты), якая вылучаецца пры поўным згаранні 1 кг паліва.
3. Згаранне паліва выклікае забруджванне навакольнага асяроддзя.

Кантрольныя пытанні

1. Удзельная цеплата згарання торфу амаль у два разы вышэйшая за ўдзельную цеплату згарання сухіх дроў. Што гэта азначае?
2. Які з відаў цвёрдага паліва, дадзеных у табліцы 2, найлепшы? Найгоршы? Чаму?
3. Ці правільнае сцверджанне: «Удзельная цеплата згарання прама прапарцыянальна колькасці вылучанай цеплаты і адваротна прапарцыянальна масе паліва, якое згарэла»? Чаму?
4. Якія шляхі паніжэння ступені забруджвання атмасферы пры выкарыстанні паліва вам вядомы?



Прыклад рашэння задачы

Вызначыце масу торфу, якую трэба спаліць, каб давесці да кіпення ($t_k = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$) ваду масай $m_b = 10\text{ кг}$, якая мае тэмпературу $t_1 = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$. На награванне вады ідзе адна пятая частка цеплаты ад згарання торфу.

Дадзена:

$$t_k = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$t_1 = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$m_b = 10\text{ кг}$$

$$Q_b = 0,2Q_T$$

$$c_b = 4,2 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}}$$

$$q = 1,5 \cdot 10^7 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

$$m_T = ?$$

Рашэнне

Колькасць цеплаты, неабходная для награвання вады, $Q_b = c_b m_b (t_k - t_1)$. Торф пры згаранні вылучае энергію $Q_T = q m_T$. Па ўмове вада атрымлівае $\frac{1}{5} Q_T$: $Q_b = \frac{1}{5} q m_T = 0,2 q m_T$. Такім чынам, $c_b m_b (t_k - t_1) = 0,2 q m_T$. Адкуль

$$m_T = \frac{c_b m_b (t_k - t_1)}{0,2 q};$$

$$m_T = \frac{4,2 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}} \cdot 10\text{ кг} \cdot 80\text{ }^{\circ}\text{C}}{0,2 \cdot 1,5 \cdot 10^7 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}} = 1,1\text{ кг}.$$

Адказ: $m_T = 1,1\text{ кг}$.

Практыкаванне 6

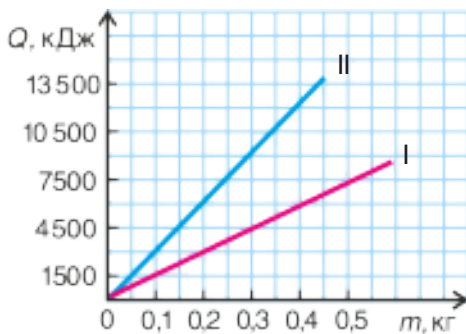
1. Колькі цеплаты вылучаецца пры поўным згаранні каменнага вугалю маркі А-І масай $m = 10,0$ кг?

2. Ці аднолькава нагрэецца печ, калі ў ёй спаліць сухія дровы масай $m_1 = 14,5$ кг або торф масай $m_2 = 8,0$ кг? Час і ўмовы згарання лічыце аднолькавымі.

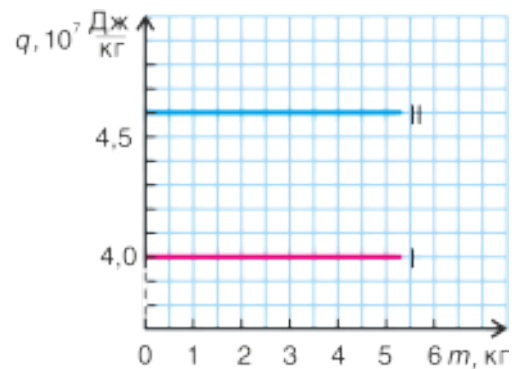
3. Пры згаранні паліва масай $m = 50$ кг вылучылася $Q = 750$ МДж цеплаты. Якое гэта паліва?

4. Адна літровая бутэлка запоўнена бензінам, а другая — газай. Ці аднолькавая колькасць цеплаты вылучыцца пры поўным згаранні змесціва кожнай з бутэлек?

5. Графікі залежнасці колькасці цеплаты, якая вылучылася пры згаранні паліва I і паліва II, ад іх масы паказаны на малюнку 47. Чаму роўна ўдзельная цеплата згарання кожнага віду паліва? У колькі разоў колькасць цеплаты, якая вылучыцца пры згаранні паліва II, большая за колькасць цеплаты, якая вылучыцца пры згаранні паліва I, калі іх масы $m_1 = m_2 = 0,3$ кг? Вызначыце віды паліва.



Мал. 47



Мал. 48

6. Выкарыстаўшы графікі залежнасці ўдзельнай цеплаты згарання паліва I і II ад іх масы (мал. 48), вызначыце сумарную колькасць цеплаты, якая вылучыцца пры згаранні паліва I масай $m_1 = 2,0$ кг і паліва II масай $m_2 = 3,0$ кг. Назавіце віды паліва.



7. Якая маса пораху павінна быць спалена для атрымання энергіі, роўнай энергіі кулі масай $m = 10$ г, якая ляціць са скорасцю $v = 600 \frac{\text{м}}{\text{с}}$? Ці будзе куля сапраўды мець такую скорасць, калі ў яе патроне згарыць порах разлічанай масы?



8. Якую масу сухіх дроў трэба спаліць, каб нагрэць вадку масай $m_1 = 500$ г ад тэмпературы $t_1 = 10$ °C да кіпення ($t_2 = 100$ °C)? Вада атрымлівае 15 % цеплаты, вылучанай пры згаранні дроў.



§ 8.

Плаўленне і крышталізацыя

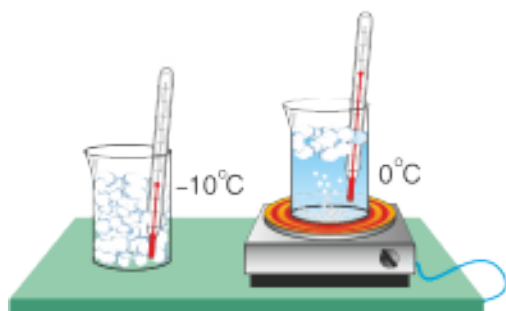
Пры цеплаперадачы ўнутраная энергія цела змяняецца. Часцей за ўсё гэта праяўляецца ў змяненні яго тэмпературы. Пры гэтым аграгатны стан рэчыва застаецца ранейшым. Аднак існуюць працэсы, пры якіх унутраная энергія рэчыва пры атрыманні цеплаты павялічваецца, а тэмпература застаецца пастаяннай.

Да такіх працэсаў адносяцца плаўленне і крышталізацыя (зацверджанне). Вывучым гэтыя працэсы пры дапамозе доследу. У шклянку змесцім кавалачкі лёду з маразільнай камеры, ахалоджаныя да тэмпературы, напрыклад, -10°C . Уставім у шклянку тэрмометр і пачнём награваль (мал. 49). Тэмпература лёду павышаецца. Ён награвецца. Унутраная энергія лёду павялічваецца за кошт кінетычнай энергіі яго малекул. Змяненне тэмпературы рэчыва ў шклянцы з цягам часу будзем паказваць на графіку (мал. 50). Участак AB адпавядае награванню лёду ад -10°C да 0°C . Пры далейшай перадачы лёду цеплаты яго тэмпература застаецца пастаяннай, роўнай 0°C (участак BC). На што ж ідзе цеплата, атрыманая лёдам? Назіранні паказваюць, што крышталічны лёд ператвараецца ў вадку.

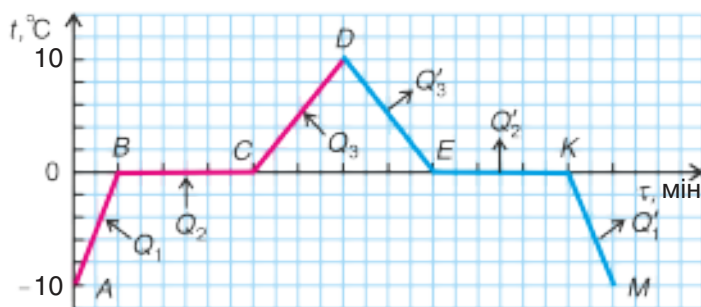
Працэс пераходу рэчыва з цвёрдага стану ў вадкі называецца плаўленнем.

Атрыманая ад пліткі цеплата па-ранейшаму ператвараецца ва ўнутраную энергію рэчыва, павялічваючы яе. Гэта павелічэнне звязана са змяненнем патэнцыяльнай энергіі ўзаемадзеяння часціц пры разбурэнні крышталю. Кінетычная ж энергія не змяняецца, паколькі тэмпература пастаянная. Аналагічна ідзе працэс плаўлення іншых крышталічных рэчываў: жалеза, медзі, сталі і г. д.

Тэмпература, пры якой рэчыва пераходзіць з цвёрдага стану ў вадкі, г. зн. плавіцца, называецца тэмпературай плаўлення.



Мал. 49



Мал. 50

Тэмпература плаўлення ў розных крышталічных рэчываў розная (табл. 3). Яна вельмі высокая ў вальфраму і вельмі нізкая ў вадароду.

Табліца 3. Тэмпература плаўлення і ўдзельная цеплата плаўлення некаторых рэчываў (пры нармальным атмасферным ціску)

Рэчыва	Тэмпература плаўлення $t, ^\circ\text{C}$	Удзельная цеплата плаўлення $\lambda, \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$	Рэчыва	Тэмпература плаўлення $t, ^\circ\text{C}$	Удзельная цеплата плаўлення $\lambda, \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$
Вальфрам	3387	$184\,000 = 1,84 \cdot 10^5$	Свінец	327	$24\,700 = 2,47 \cdot 10^4$
Плаціна	1772	$113\,000 = 1,13 \cdot 10^5$	Волава	232	$60\,300 = 6,03 \cdot 10^4$
Жалеза	1539	$270\,000 = 2,70 \cdot 10^5$	Лёд	0	$333\,000 = 3,33 \cdot 10^5$
Сталь	1500	$84\,000 = 8,4 \cdot 10^4$	Спірт	-114	$11\,000 = 1,10 \cdot 10^4$
Медзь	1085	$210\,000 = 2,10 \cdot 10^5$	Ртуць	-39	$11\,800 = 1,18 \cdot 10^4$
Золата	1064	$67\,000 = 6,70 \cdot 10^4$	Азот	-210	$25\,500 = 2,55 \cdot 10^4$
Серабро	962	$87\,000 = 8,70 \cdot 10^4$	Кісларод	-219	$14\,000 = 1,40 \cdot 10^4$
Алюміній	660	$390\,000 = 3,90 \cdot 10^5$	Вадарод	-259	$58\,200 = 5,82 \cdot 10^4$

Працягнем дослед. Як толькі ўвесь лёд расплавіцца, тэмпература вады ў шклянцы пачне ўзрастаць (участак CD , гл. мал. 50).

На ўсіх разгледжаных участках цеплата рэчывам (лёдам, вадой) паглыналася. А цяпер знімем шклянку з пліткі, паставім у маразільную камеру і будзем перыядычна назіраць за паказаннямі тэрмометра і станам рэчыва. Вада спачатку астывае да $0\,^\circ\text{C}$ (участак DE). Яе ўнутраная энергія памяншаецца, цеплата Q'_3 вылучаецца, прычым $|Q'_3| = Q_3$. Потым адбываецца працэс крышталізацыі (участак EK), тэмпература застаецца пастаяннай, яе значэнне роўна $0\,^\circ\text{C}$. Вада ператвараецца ў лёд. Цеплата Q'_2 вылучаецца, $|Q'_2| = Q_2$. Участак KM (гл. мал. 50) адпавядае ахаладжэнню лёду да тэмпературы ў камеры.

Працэс пераходу рэчыва з вадкага стану ў цвёрды называецца крышталізацыяй.

Звярніце ўвагу, што **тэмпература плаўлення і тэмпература крышталізацыі аднолькавыя**. Напрыклад, калі волава плавіцца пры тэмпературы 232°C (гл. табл. 3), то і зацвердзяць яно будзе пры тэмпературы 232°C .



Для дапытлівых

У табліцы 3 дадзены тэмпературы плаўлення рэчываў пры нармальным атмасферным ціску. І гэта невыпадкова. Для большасці рэчываў з павелічэннем ціску тэмпература плаўлення павялічваецца. Але для лёду — наадварот: пры павышэнні ціску лёд можа плавіцца, напрыклад, пры тэмпературы -5°C .

Паняцці «тэмпература плаўлення» і «тэмпература крышталізацыі» прымяняльны не да ўсіх рэчываў. Сагрэўшы рукой кавалак халоднага цвёрдага пластыліну, мы адчуем паступовае памяншэнне яго цвёрдасці. Награваючы пластылін далей, можна перавесці яго ў стан вязкай вадкасці. Але мы не выявім пэўнай тэмпературы плаўлення. Тое ж самае адбываецца пры награванні шкла: назіраецца бесперапыннае памяншэнне яго цвёрдасці (мал. 51) і павелічэнне цякучасці. Прычына такіх паводзін названых рэчываў (іх называюць аморфнымі) у адсутнасці ў іх будове ўпарадкаванага размяшчэння часціц.

Паняцці «тэмпература плаўлення» і «тэмпература крышталізацыі» прымяняльны толькі да рэчываў, якія маюць крышталічную будову.



Мал. 51



Мал. 52

Тэмпературу плаўлення даводзіцца ўлічваць пры стварэнні бытавой і прамысловай тэхнікі. Спіралі лямпачак, награвальных элементаў (мал. 52) робяць з тугаплаўкіх матэрыялаў. У самалётбудаванні, ракетнай і касмічнай прамысловасці выкарыстоўваюць матэрыялы з высокай тэмпературай плаўлення. Растлумачце прычыну гэтага.

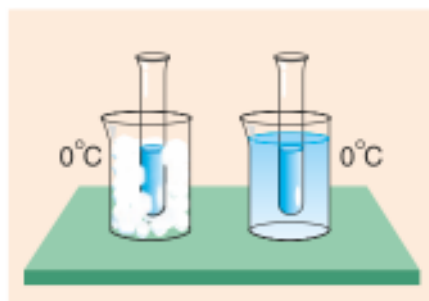
Тэмпературу плаўлення адных рэчываў можна змяніць, змяшаўшы іх з іншымі. Так, дадаўшы кухонную соль да лёду, можна атрымаць сумесь з тэмпературай плаўлення $-21\text{ }^{\circ}\text{C}$. Гэту ўласцівасць актыўна выкарыстоўваюць дарожныя службы, пасыпаючы зімой вуліцы сумессю пяску і солі.

Галоўныя вывады

1. Для пераходу крышталічнага рэчыва з цвёрдага стану ў вадкі яго неабходна нагрэць да тэмпературы плаўлення.
2. У працэсах плаўлення і крышталізацыі тэмпература рэчыва не змяняецца.
3. Тэмпературы плаўлення і крышталізацыі для дадзенага рэчыва аднолькавыя.
4. Пры плаўленні рэчыва паглынае энергію, пры крышталізацыі столькі ж энергіі вылучаецца.

? Кантрольныя пытанні

1. Які працэс называецца плаўленнем? Крышталізацыяй?
2. Да якіх рэчываў прымяняльны тэрміны «плаўленне» і «крышталізацыя»?
3. Як растлумачыць пастаянства тэмпературы пры плаўленні рэчыва? На што расходуюцца энергія, якая падводзіцца?
4. Як змяняецца ўнутраная энергія пры пераходах «цвёрдае рэчыва — вадкасць» і «вадкасць — цвёрдае рэчыва»? Ці роўныя змяненні ўнутранай энергіі пры гэтых пераходах?
5. Ці можна жалезны цвік расплавіць у алавяным кубку? Чаму?
6. У якім стане пры нармальным атмасферным ціску знаходзяцца свінец і азот, калі іх тэмпературы роўны адпаведна $t_{\text{св}} = +330\text{ }^{\circ}\text{C}$ і $t_{\text{азоту}} = -215\text{ }^{\circ}\text{C}$? Чаму?
7. Кавалак лёду прынеслі з вуліцы, дзе тэмпература была $t_1 = -5\text{ }^{\circ}\text{C}$, у хлeў, тэмпература ў якім $t_2 = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ці будзе раставаць лёд? Чаму?
8. Ці замерзне вада ў якой-небудзь з прабірак, паказаных на малюнку 53? Чаму?



Мал. 53

→ Дамашняе заданне

Запаліце свечку і назірайце пераход воску з цвёрдага стану ў вадкі. Рас-
тлумачце вынікі назірання.



§ 9.

Удзельная цеплата плаўлення і крышталізацыі

Як вызначыць колькасць цеплаты, якую павінна паглынуць цвёрдае крышталічнае цела масай m , каб перайсці ў вадкі стан, г. зн. расплавіцца? Яшчэ раз звяртаем вашу ўвагу на тое, што тэмпература падчас плаўлення не змяняецца (гл. мал. 50, участак BC), але цеплата цэлу перадаецца. Значыць, яна ідзе на разбурэнне крышталічнай упарадкаванай структуры рэчыва цела.

Фізічная велічыня, лікава роўная колькасці цеплаты, якую неабходна перадаць цвёрдаму цэлу масай 1 кг пры тэмпературы плаўлення для пераходу ў вадкі стан, называецца ўдзельнай цеплатой плаўлення.

Удзельная цеплата плаўлення абазначаецца грэчаскай літарай λ (лямбда).

Каб расплавіць цвёрдае цела масай 2 кг, яму трэба перадаць энергіі (цеплаты) Q у 2 разы больш. А калі маса цела роўна m ? Відавочна, для пераходу ў вадкі стан цела павінна атрымаць цеплаты Q у m разоў больш, г. зн.

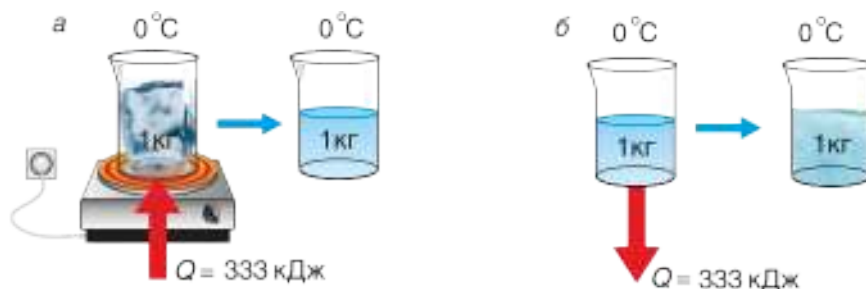
$$Q = \lambda m.$$

З гэтай формулы вынікае, што ўдзельная цеплата плаўлення вызначаецца як

$$\lambda = \frac{Q}{m}.$$

У СІ адзінкай удзельнай цеплаты плаўлення з’яўляецца **1 джоўль на кілаграм** $\left(\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}\right)$.

У розных рэчываў удзельная цеплата плаўлення λ неаднолькавая. У табліцы 3 прыведзены яе значэнні для розных рэчываў. Як вынікае з табліцы, λ для ртуці роўна $11800 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$. Гэта значыць, што для пераходу ртуці масай $m = 1$ кг, якая мае тэмпературу $t = -39^\circ\text{C}$, з цвёрдага стану ў вадкі ёй трэба перадаць $Q = 11\,800$ Дж энергіі. Больш за ўсё цеплаты для плаўлення масы $m = 1$ кг патрабуецца лёду — $\lambda = 333\,000 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ (мал. 54, а). Але пры замярзанні пры тэмпературы $t = 0^\circ\text{C}$ столькі ж цеплаты вылучае кожны кілаграм вады (мал. 54, б).



Мал. 54

Вялікай удзельнай цеплатой плаўлення тлумачыцца зацяжное раставанне лёду азёр, рэк і іншых вадаёмаў. А паколькі цеплату лёд паглынае з навакольнага асяроддзя, то надвор'е ў гэты час, як правіла, халаднаватае. І наадварот, пры замярзанні азёр, рэк і іншых вадаёмаў (мал. 55) вылучаецца вялікая колькасць энергіі, што робіць больш цёплым надвор'е позняй восенню, а клімат паблізу мораў і акіянаў умераным.



Мал. 55

Галоўныя вывады

1. Пры пераходзе 1 кг рэчыва з цвёрдага стану ў вадкі паглынаецца колькасць цеплаты, лікава роўная ўдзельнай цеплаце плаўлення, роўна столькі ж цеплаты вылучаецца пры яго пераходзе з вадкага стану ў цвёрды.
2. Тэмпературы плаўлення і крышталізацыі для дадзенага рэчыва аднолькавыя.
3. Удзельная цеплата плаўлення ў розных рэчываў розная.

? Кантрольныя пытанні

1. Ад чаго залежыць колькасць цеплаты, неабходная для пераходу цвёрдага цела ў вадкі стан?
2. Што называецца ўдзельнай цеплатой плаўлення? У чым яна вымяраецца?
3. Што азначае выраз: «Удзельная цеплата плаўлення волава роўна $\lambda = 60\,300 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ »?
4. Удзельная цеплата плаўлення рэчыва $\lambda = 58\,200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$. Якое гэта рэчыва? Якая ў яго тэмпература плаўлення?
5. Ці правільнае сцверджанне: «Удзельная цеплата плаўлення прама прапарцыянальна колькасці цеплаты і адваротна прапарцыянальна масе цела»? Чаму?



Прыклад рашэння задачы

У гарачую ваду тэмпературай $t_1 = 90^\circ\text{C}$ апусцілі кубік лёду масай $m_2 = 0,20$ кг, які мае тэмпературу $t_2 = -10^\circ\text{C}$. Канчатковая тэмпература вады стала $t = 20^\circ\text{C}$. Вызначыце масу гарачай вады. Страты цеплаты не ўлічваць.

Дадзена:

$$m_2 = 0,20 \text{ кг}$$

$$t_1 = 90^\circ\text{C}$$

$$t_2 = -10^\circ\text{C}$$

$$t = 20^\circ\text{C}$$

$$c_v = 4,2 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$c_l = 2,1 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$\lambda = 3,33 \cdot 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

$$m_1 = ?$$

Рашэнне

Складзём ураўненне цеплага балансу:

$Q_{\text{адд}} = Q_{\text{атр}}$. Адавала цеплату гарачая вада, астываючы ад тэмпературы t_1 да тэмпературы t : $Q_{\text{адд}} = c_v m_1 (t_1 - t)$. Лёд атрымліваў цеплату, за кошт якой ён нагрэўся ад t_2 да $t_{\text{пл}}$, ператварыўся ў ваду, потым атрыманая вада нагрэлася ад тэмпературы $t_{\text{пл}}$ да тэмпературы t :

$$Q_{\text{атр}} = Q_{\text{нагр. лёду}} + Q_{\text{пл}} + Q_{\text{нагр. вады}}.$$

$$Q_{\text{атр}} = c_l m_2 (t_{\text{пл}} - t_2) + \lambda m_2 + c_v m_2 (t - t_{\text{пл}}).$$

Тады $c_v m_1 (t_1 - t) = -c_l m_2 t_2 + \lambda m_2 + c_v m_2 t$, адкуль

$$m_1 = \frac{-c_l m_2 t_2 + \lambda m_2 + c_v m_2 t}{c_v (t_1 - t)}.$$

Падставіўшы лікавыя даныя, атрымваем $m_1 = 0,3$ кг.

Адказ: $m_1 = 0,3$ кг.

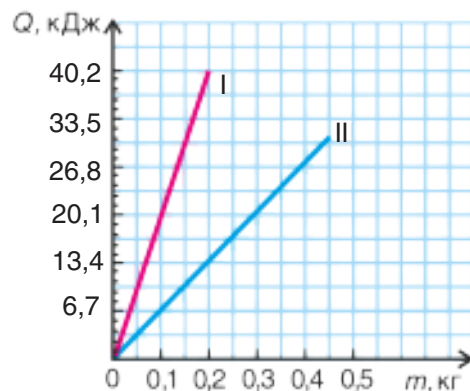
Практыкаванне 7

1. У колькі разоў адрозніваюцца колькасці цеплаты, якія вылучыліся пры крышталізацыі 1 кг медзі і 1 кг жалеза?

2. На колькі павялічыцца пры плаўленні ўнутраная энергія серабра масай $m = 2,00$ кг?

3. Якую колькасць цеплаты трэба перадаць золату аб'ёмам $V = 60 \text{ см}^3$, узятаму пры тэмпературы плаўлення, каб цалкам расплавіць яго?

4. Залежнасці колькасці паглынутай цеплаты ад масы для двух рэчываў пры іх плаўленні паказаны на малюнку 56. Вызначыце ўдзельную цеплату плаўлення абодвух рэчываў. Што гэта



Мал. 56

за рэчывы? Колькі цеплаты вылучыцца пры крышталізацыі рэчыва II масай $m = 2,00$ кг?

5. Колькі цеплаты спатрэбіцца, каб расплавіць лёд масай $m = 3,0$ кг, які знаходзіцца пры тэмпературы $t = -10$ °C? Пабудуйце графік залежнасці колькасці падведзенай для гэтага цеплаты Q ад тэмпературы t рэчыва.

6. Да якой найменшай тэмпературы трэба нагрэць жалезны куб, каб ён, змешчаны на лёд пры тэмпературы $t = 0,0$ °C, цалкам у яго апусціўся? Лічыце, што ўся цеплата, аддадзеная кубам пры астыванні, ідзе на плаўленне лёду.

7. У ваду масай $m_1 = 20$ кг уліваюць волава пры тэмпературы плаўлення $t_{пл} = 232$ °C. У выніку цеплаабмену ўсталявалася тэмпература $t = 23$ °C. Знайдзіце масу волава. Пачатковая тэмпература вады $t_1 = 20$ °C.

8. У цеплаізаляванай пасудзіне знаходзіцца вада масай $m_1 = 5$ кг пры тэмпературы $t_1 = 15$ °C. У ваду апусцілі кавалак лёду пры тэмпературы $t_2 = -25$ °C. Вызначыце масу лёду, калі ў пасудзіне ўся вада замерзла і ўсталявалася тэмпература $t_0 = 0$ °C. Цеплаёмістасць пасудзіны не ўлічваць.

9. У алюмініевым каларыметры масай $m_1 = 100$ г знаходзіцца свінец масай $m_2 = 0,50$ кг пры тэмпературы $t_1 = 77$ °C. Вызначыце масу мазуту, якую трэба спаліць, каб расплавіць свінец. Страты энергіі не ўлічваць.

10. Для плаўлення сталі, якая мае пачатковую тэмпературу $t_1 = 20$ °C, быў спалены каменны вугаль маркі А-I масай $m = 20$ кг. Якая маса сталі расплавілася, калі на плаўленне пайшло 50 % цеплаты, атрыманай ад згарання вугалю?



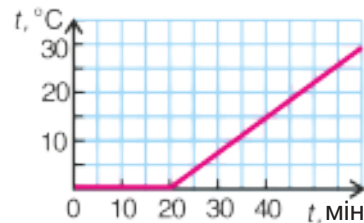
11. Пры тэмпературы паветра $t = -10$ °C кожны квадратны метр паверхні сажалкі вылучае $Q = 180$ кДж цеплаты ў гадзіну. Якой таўшчыні ўтворыцца лёд за час $\tau = 2$ г, калі тэмпература вады каля паверхні сажалкі $t = 0$ °C? Чаму цеплата вылучаецца?



12. У алюмініевай пасудзіне масай $m_1 = 100$ г знаходзіцца лёд масай $m_2 = 500$ г пры тэмпературы $t_1 = -10$ °C. Якую масу мазуту трэба спаліць, каб расплавіць лёд і нагрэць ваду да тэмпературы $t_2 = 100$ °C, калі навакольнаму асяроддзю перадаецца 80 % энергіі, вылучаемай пры яго згаранні?



13. Пасудзіну, у якой змяшчаецца сумесь вады і лёду масай $m = 3,7$ кг, паставілі на электрапліту і адразу пачалі вымяраць тэмпературу яе змесціва. Графік залежнасці тэмпературы ад часу паказаны на малюнку 57. Вызначыце масу лёду ў сумесі. Карысную магутнасць награвальніка электрапліты лічыць пастаяннай.



Мал. 57



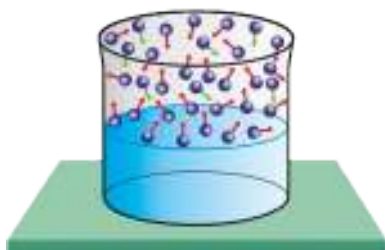
§ 10.

Выпарэнне вадкасцей. Фактары, якія ўплываюць на скорасць выпарэння

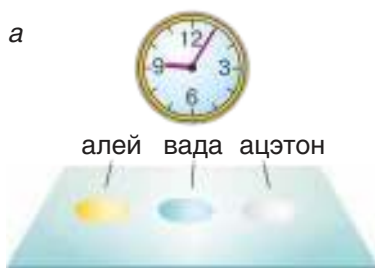
Ці задумваліся вы над пытаннем: чаму сохне мокрае адзенне? Чаму ў ветранае надвор'е яно высыхае значна хутчэй, чым у зацішнае? Паспрабуем адказаць на гэтыя і некаторыя іншыя пытанні.

Успомнім, што часціцы рэчыва ў любым яго стане знаходзяцца ў бесперапынным руху. Модулі і напрамкі іх скорасці змяняюцца самым выпадковым чынам. Малекула вадкасці можа атрымаць вялікую скорасць, а значыць, вялікую кінетычную энергію. Такая малекула можа пераадолець сілы прыцяжэння да іншых малекул і пакінуць вадкасць (мал. 58).

Паколькі малекулы з вялікай энергіяй у вадкасці ёсць заўсёды, то з часам яе колькасць будзе памяншацца, а над вадкасцю будзе ўтварацца пара (газ).



Мал. 58



Мал. 59

Працэс пераходу рэчыва з вадкага стану ў газаводобны называецца параўтварэннем.

Адрозніваюць два віды параўтварэння: *выпарэнне* і *кіпенне*.

Выпарэнне — гэта параўтварэнне, якое адбываецца са свабоднай паверхні вадкасці.

Пры выпарэнні вадкасць пакідаюць малекулы з большай энергіяй. Энергія вадкасці памяншаецца. Значыць, і яе тэмпература памяншаецца. Праверце гэта на доследзе. Капніце на далонь кроплю ацэтона або эфіру. Вы адчуеце холад. Гэта адбываецца таму, што пры выпарэнні ацэтон (эфір) ахалоджваецца і забірае ў далоні цеплату.

Ад чаго залежыць скорасць выпарэння?

Правядзём дослед. На шкло нанясём тампонам вільготныя плямы аднолькавых памераў у такой паслядоўнасці: алей, вада, ацэтон (эфір) (мал. 59, а). Першай знікне пляма ацэтона (мал. 59, б), потым вады. Пляма алею захоўваецца доўга. Адсюль вынікае, што **скорасць выпарэння ў розных вадкасцей неаднолькавая**. Гэта і зразумела: у розных вадкасцей сілы ўзаемадзеяння малекул неаднолькавыя.

Працягнем дослед. Адну шкляную пласцінку возьмем халодную, а другую нагрэем. Нанясём

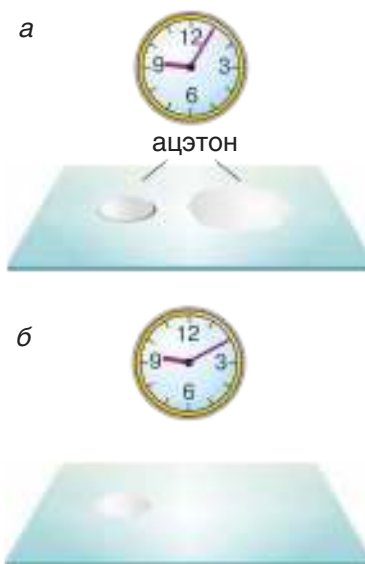


Мал. 60

на іх дзве аднолькавыя кроплі ацэтану або вады (мал. 60, а). З нагрэтага шкла кропля знікне хутчэй, чым з халоднага (мал. 60, б). **Чым вышэйшая тэмпература вадкасці, тым большая скорасць выпарэння.**

А цяпер нанясём на шкло дзве кроплі ацэтану. Размажам адну кроплю так, каб утварылася пляма (мал. 61, а). Пляма ацэтану выпарыцца хутчэй (мал. 61, б). Значыць, **чым большая плошча свабоднай паверхні вадкасці, тым большая скорасць выпарэння.**

Нарэшце, на дзве шкляныя пласцінкі нанясём па кроплі ацэтану, але адну з іх будзем абмахваць кардонным веерам. Кропля з гэтага шкла выпарыцца хутчэй. Чаму? Пры выпарэнні малекулы не толькі пакідаюць паверхню вадкасці, але і вяртаюцца назад. Вецер жа адносіць малекулы, якія вылецелі. На гэтым заснавана, напрыклад, сушка валасоў феном (мал. 62).



Мал. 61

▼ Для дапытлівых

Працэс выпарэння знаходзіць практычнае прымяненне ў тэхніцы. Менавіта дзякуючы выпарэнню ахалоджваюцца прадукты ў нашых дамашніх халадзільніках, халадзільніках крам і вагонаў-рэфрыжэратараў. Аб механізме ахалоджэння вы даведаецеся ў 10-м класе.

У касманаўтыцы выпарэнне рэчыва, якім пакрываюць спускаемы апарат, ахалоджвае яго і ратуе ад перагрэву пры пападанні ў шчыльныя слаі атмасферы.



Мал. 62



Мал. 63

А ці выпараюцца цвёрдыя рэчывы? Правядзём наступны дослед. У прабёрку, замацаваную на штатыве, змесцім крышталікі ёду і будзем нагрываць яе ў полымі спіртоўкі (мал. 63). Праз некаторы час крышталікі ёду выпараюцца. Значыць, цвёрдыя целы таксама выпараюцца.

Знікае іней на дрэвах (мал. 64).

Памытая бялізна высыхае нават пры моцным марозе.



Мал. 64

Галоўныя вывады

1. Выпарэнне выклікае ахаладжэнне вадкасцей.
2. Выпарэнне вадкасцей адбываецца пры любой тэмпературы.
3. Скорасць выпарэння залежыць ад роду вадкасці, яе тэмпературы, плошчы свабоднай паверхні і ад прытоку паветра (наяўнасці ветру).

? Кантрольныя пытанні

1. Які працэс называюць выпарэннем?
2. Чаму пры выпарэнні вадкасць ахаладжваецца?
3. Якое складаемае ўнутранай энергіі вадкасці (кінетычная або патэнцыяльная энергія) змяняецца пры выпарэнні вадкасці без падачы цеплаты звонку? Чаму?
4. Чаму скорасць выпарэння розных вадкасцей неаднолькавая?
5. Памяшканне, у якім разлілі ртуць, небяспечнае для пражывання доўгія гады, калі спецыяльная служба яго не ачысціла. Чаму?

Практыкаванне 8

1. У якім флаконе — з вузкім або шырокім рыльцам (мал. 65) — духі захаваюцца даўжэй? Чаму?

2. Чаму пры адной і той жа тэмпературы ў зацішнае надвор'е бялізна сохне павольней, чым пры моцным ветры?

3. Каб у спякотнае надвор'е захаваць ваду халоднай, пасудзіну з вадой абгортваюць мокрай анучай. Чаму?

4. Ці будзе вада выпарацца з адкрытай пасудзіны, калі яе перанесці з цёплага пакоя ($t_1 = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$) на вуліцу ($t_2 = 2\text{ }^{\circ}\text{C}$)?

5. На вагах ураўнаважаны адкрытыя бутэлькі з ацэтонам і вадой (мал. 66). Ці парушыцца раўнавага вагаў праз некаторы час? Чаму?

6. Чаму, выйшаўшы з вады, купальшчык адчувае холад?

7. Чаму спацеламу чалавеку шкодна выходзіць на халоднае паветра?

8. Якое значэнне для жыццядзейнасці чалавека мае потааддзяленне?

9. Пры высокай тэмпературы цела хворага часам праціраюць растворами спірту. Навошта гэта робяць?

10. Для чаго яблыкі або грушы перад сушкай разразаюць на долькі?

11. Растлумачце прыныцы дзеяння «паветранага ручніка» (струмень цёплага паветра), які выкарыстоўваецца для сушкі мокрых рук (мал. 67).



12. Калі ў пасудзіну наліць крыху вады, а зверху — эфіру, а затым адпампоўваць з яе пару эфіру, то вада ў пасудзіне замерзне. Растлумачце гэту з'яву.



Мал. 65



Мал. 66

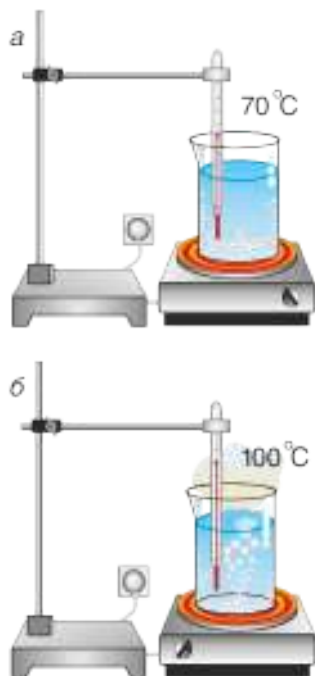


Мал. 67



§ 11.

Кіпенне вадкасцей. Удзельная цеплата параўтварэння



Мал. 68



Мал. 69



Мал. 70

Вы ўжо ведаеце, што выпарэнне вадкасці без прытоку цеплаты пры любой тэмпературы прыводзіць да яе ахаладжэння. А як будзе ісці выпарэнне, калі вадкасці бесперапынна перадаваць энергію (цеплату)?

Правядзём дослед. Паставім на электраплітку шклянку з вадой (мал. 68, а). Па тэрмометры будзем сачыць за змяненнем тэмпературы вады ў шклянцы. Тэмпература вады спачатку расце. На дне шклянкі з'яўляецца мноства маленькіх бурбалак. Іх памеры паступова павялічваюцца, паколькі вада выпараецца ўнутр бурбалак і ціск пары ў бурбалках пры награванні павышаецца. Бурбалкі адрываюцца ад дна і сценак і рухаюцца ўверх. А што далей? Калі ціск пары ўнутры бурбалкі большы, чым над вадкасцю, то каля паверхні яна разрываецца, і пара выходзіць вонкі. Пры гэтым тэмпература вады блізкая да 100 °C і практычна не мяняецца. А ўсё большая колькасць бурбалак падыходзіць і лопаецца каля паверхні, выкідваючы пару ў атмасферу. Вада кіпіць (мал. 68, б).

Кіпенне — гэта працэс **параўтварэння**, які ідзе пры **пастаяннай тэмпературы па ўсім аб'ёме вадкасці**. Сапраўды, любую бурбалку можна разглядаць як пасудзіну з парай унутры вадкасці (мал. 69). З паверхні яе сценак ідзе выпарэнне і адваротны працэс — вяртанне малекул у вадкасць, г. зн. **кандэнсацыя**.

Пры кіпенні тэмпература вадкасці не змяняецца. Але ж энергія (ад нагрэтай пліткі) вадкасцю паглынаецца. На што ж яна ідзе? Энергія, атрыманая вадкасцю, ідзе на ператварэнне яе ў пару (газ), г. зн. на пераадоленне сіл прыцяжэння паміж малекуламі вадкасці.

Пры адваротным працэсе — **пераходзе пары ў вадкасць** (мал. 70), або **кандэнсацыі**, гэтая ж колькасць энергіі вылучаецца.

Тэмпература, пры якой адбываецца кіпенне вадкасці, называецца тэмпературай кіпення.

Тэмпература кіпення ў розных вадкасцей неаднолькавая. Гэта і зразумела, бо энергія ўзаемадзеяння іх малекул таксама розная.

У табліцы 4 прыведзены тэмпературы кіпення вадкасцей пры нармальным атмасферным ціску. А ці выпадкова мы, гаворачы аб тэмпературы кіпення вадкасці, згадваем ціск? Не, невыпадкава. Бурбалкі кіпячай вадкасці лопаюцца пры ўмове, што ціск пары ў іх не меншы за ціск звонку. Значыць, **чым меншы знешні ціск, тым пры больш нізкай тэмпературы закіпіць вадкасць.**

Пацвердзім гэта доследам. Наліём у колбу цёплай вады, тэмпература якой $t = 50\text{--}60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Закрыйем колбу коркам, злучаным з помпай (мал. 71). Адпампуем газ з колбы. Вада закіпіць, хоць яе тэмпература меншая за $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Але гэта не азначае, што ў такой вадзе можна зварыць яйцо. Яйцо варыцца не ад таго, што вада кіпіць, а ад таго, што яна гарачая.

А калі ў спецыяльных умовах стварыць высокі ціск над паверхняй вады, то ў ёй можна будзе расплавіць волава, але вада так і не будзе кіпець. Растлумачце чаму.

Залежнасць тэмпературы кіпення ад знешняга ціску выкарыстоўваецца ў практычных мэтах. Напрыклад, для стэрылізацыі медыцынскіх інструментаў іх змяшчаюць у герметычна закрытыя камеры-аўтаклавы (мал. 72), вада ў якіх кіпіць пры тэмпературы значна вышэйшай за $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. У побыце выкарыстоўваюцца каструлі-скараваркі (мал. 73), у якіх тэмпература кіпення вады можа павышацца да $120\text{ }^{\circ}\text{C}$. Таму ежа ў скараварках гатуецца значна хутчэй, чым у звычайных каструлях.

Вернемся да параўтварэння. Каб ператварыць у пару 1 кг вадкасці пры тэмпературы кіпення, неабходна перадаць ёй пэўную колькасць цеплаты.



Мал. 71



Мал. 72



Мал. 73

А калі маса вадкасці будзе 2 кг? Значыць, цеплаты спатрэбіцца ў 2 разы больш. А пры ператварэнні ў пару m кг вадкасці колькасць цеплаты павялічыцца ў m разоў, г. зн. **колькасць цеплаты, неабходная для параўтварэння, прама прапарцыянальна масе вадкасці:**

$$Q = Lm.$$

У гэтай формуле каэфіцыент L называецца **ўдзельнай цеплатой параўтварэння:**

$$L = \frac{Q}{m}.$$

Як вынікае з формулы, адзінкай удзельнай цеплаты параўтварэння ў СІ з'яўляецца **1 джоўль на кілаграм** $\left(\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}\right)$.

Удзельная цеплата параўтварэння ёсць фізічная велічыня, лікава роўная колькасці цеплаты, паглынутае 1 кг вадкасці пры пераходзе яе ў пару пры тэмпературы кіпення.

Удзельная цеплата параўтварэння розных вадкасцей дадзена ў табліцы 4.

Табліца 4. Тэмпература кіпення і ўдзельная цеплата параўтварэння некаторых вадкасцей (пры нармальным атмасферным ціску)

Рэчыва	Тэмпература кіпення t , °C	Удзельная цеплата параўтварэння L , $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$
Паветра	-192	210 000 = $2,1 \cdot 10^5$
Аміяк	-33,4	1 370 000 = $1,37 \cdot 10^6$
Эфір	35	352 000 = $3,52 \cdot 10^5$
Ацэтон	56,2	520 000 = $5,2 \cdot 10^5$
Спірт	78	857 000 = $8,57 \cdot 10^5$
Вада	100	2 260 000 = $2,26 \cdot 10^6$
Ртуць	357	285 000 = $2,85 \cdot 10^5$
Жалеза	3050	58 000 = $5,8 \cdot 10^4$

Што азначае $L = 2,26 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ для вады? А гэта азначае, што 1 кг вады пры тэмпературы 100°C павінен паглынуць $2,26 \cdot 10^6$ Дж энергіі (цеплаты), каб перайсці ў газ (пару) з той жа тэмпературай. Можна сказаць інакш: $L = 2,26 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ — гэта колькасць цеплаты, вылучаемая пры кандэнсацыі 1 кг пары пры тэмпературы кіпення (100°C).

Галоўныя вывады

1. Ператварэнне вадкасці ў газ (пару) пры пастаяннай тэмпературы ва ўсім аб'ёме вадкасці называюць кіпеннем.
2. Тэмпература кіпення залежыць ад роду вадкасці і знешняга ціску.
3. Чым вышэйшы ціск над паверхняй вадкасці, тым вышэйшая тэмпература кіпення.
4. Пры кіпенні вадкасць паглынае энергію, пры кандэнсацыі пары вылучаецца роўная колькасць энергіі.
5. Колькасць паглынутага пры кіпенні цеплавой энергіі залежыць ад роду вадкасці і яе масы.

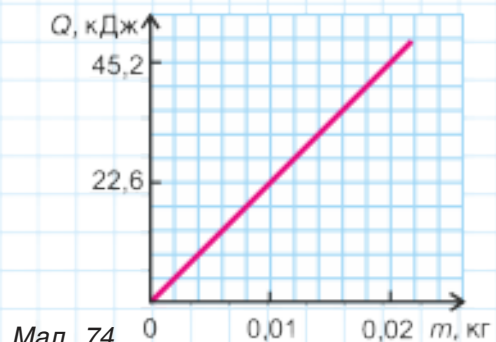
? Кантрольныя пытанні

1. Што ўяўляе сабой працэс кіпення вадкасці?
2. Чаму тэмпература вадкасці ў працэсе кіпення не змяняецца?
3. Які фізічны сэнс мае ўдзельная цеплата параўтварэння?
4. Зыходзячы з формулы $L = \frac{Q}{m}$, патлумачце, ці правільным будзе сцверджанне: «Удзельная цеплата параўтварэння прама прапарцыянальна колькасці паглынутага цеплаты і адваротна прапарцыянальна масе вадкасці».
5. Чаму з павелічэннем знешняга ціску тэмпература кіпення вадкасці павышаецца, а з памяншэннем — паніжаецца?



Прыклад рашэння задачы

На малюнку 74 паказаны графік залежнасці колькасці цеплаты, якая ішла на параўтварэнне некаторай вадкасці, ад яе масы. Якую масу волава можна расплавіць, выкарыстаўшы цеплату кандэнсацыі пары дадзенай вадкасці масай $m_1 = 0,01$ кг, узятаяй пры тэмпературы кіпення? Тэмпература волава $t = 32^\circ\text{C}$.



Дадзена:

$$m_1 = 0,01 \text{ кг}$$

$$t = 32 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$t_{\text{пл}} = 232 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$c_{\text{вол}} = 250 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}}$$

$$\lambda = 6,03 \cdot 10^4 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

 $m = ?$

Рашэнне

Па графіку знойдзем модуль колькасці цеплаты, якая вылучыцца пры кандэнсацыі пары масай $m_1 = 0,01 \text{ кг}$:

$$|Q_{\text{кан}}| = Q_{\text{пар}} = 22,6 \text{ кДж} = 22\,600 \text{ Дж.}$$

Для награвання да тэмпературы плаўлення $t_{\text{пл}}$ і плаўлення масы m волава неабходна колькасць цеплаты

$$Q = c_{\text{вол}} m (t_{\text{пл}} - t) + \lambda m.$$

$$|Q_{\text{кан}}| = Q.$$

$$\text{Адкуль } m = \frac{Q}{c_{\text{вол}} (t_{\text{пл}} - t) + \lambda}.$$

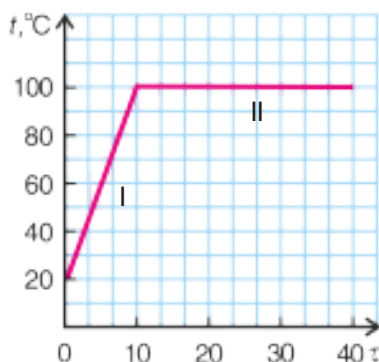
$$t_{\text{пл}} - t = 232 \text{ }^{\circ}\text{C} - 32 \text{ }^{\circ}\text{C} = 200 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

$$\text{Тады } m = \frac{22\,600 \text{ Дж}}{250 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}} \cdot 200 \text{ }^{\circ}\text{C} + 6,03 \cdot 10^4 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}} = 0,2 \text{ кг.}$$

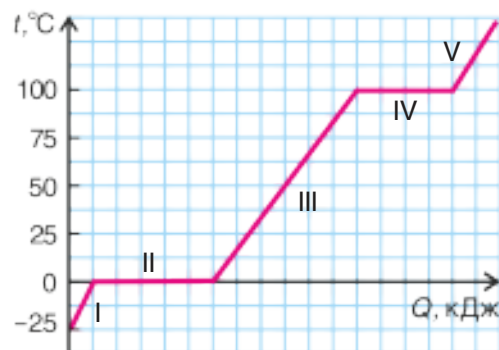
Адказ: $m = 0,2 \text{ кг}$.

Практыкаванне 9

1. Як можна падзяліць сумесь вадкасцей на асобныя кампаненты?
2. Дзе кавалак мяса зварыцца на адной і той жа гарэлцы хутчэй — каля падножжа гары Эверэст або на яе вяршыні? Чаму?
3. Які ўчастак графіка (мал. 75) адпавядае працэсу кіпення вады? Якая пачатковая тэмпература вады? Канчатковая?
4. Апішыце працэсы, якія праходзяць у рэчыве, аналізуючы ўчасткі I—V графіка (мал. 76). Што гэта за рэчыва?



Мал. 75



Мал. 76

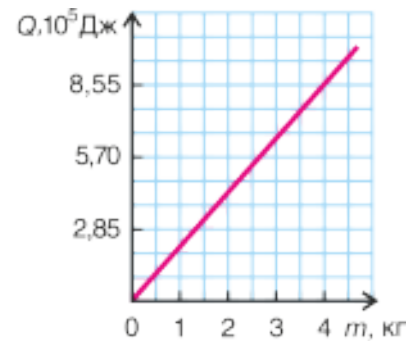
5. Чаму апёкі скуры вадзяной стаградуснай парай больш моцныя, чым апёкі кіпячай вадой?

6. Што валодае большай энергіяй: эфір масай $m = 100$ г пры тэмпературы $t = 35$ °C або пара эфіру той жа масы пры той жа тэмпературы?

7. Пры кандэнсацыі пары некаторай вадкасці масай $m = 200$ г пры тэмпературы кіпення вылучылася $Q = 7,04 \cdot 10^4$ Дж цеплаты. Чаму роўна ўдзельная цеплата параўтварэння гэтай вадкасці? Якая вадкасць утварылася пры кандэнсацыі?

8. Колькі энергіі неабходна для ператварэння ў пару вады масай $m = 2,0$ кг, узятай пры тэмпературы: а) $t_1 = 100$ °C; б) $t_2 = 20$ °C?

9. Выкарыстаўшы графік залежнасці колькасці цеплаты, неабходнай для ператварэння вадкасці ў пару (газ), ад масы вадкасці (мал. 77), вызначыце ўдзельную цеплату параўтварэння. Якая гэта вадкасць? Колькі цеплаты вылучыцца пры кандэнсацыі пары дадзенай вадкасці масай $m = 3,00$ кг?



Мал. 77

10. Колькі лёду, узятага пры тэмпературы $t_1 = -10$ °C, можна цалкам расплавіць, калі перадаць яму энергію, якая вылучылася пры кандэнсацыі вадзяной пары масай $m = 25$ г пры тэмпературы $t_2 = 100$ °C?



11. У каструлі з вадой плавае прабірка, напоўненая вадой. Пры награванні вада ў каструлі закіпае. Ці закіпіць вада ў прабірцы?



12. Колбу, якая змяшчае вадку масай $m_1 = 300$ г пры тэмпературы $t = 40$ °C, награвалі на спіртоўцы. Якая маса вадкі ператворыцца ў пару, калі ў спіртоўцы згарэла маса $m_2 = 20$ г спірту? Каэфіцыент карыснага дзеяння спіртоўкі $\eta = 20$ %, цеплаёмістасць колбы $C = 200 \frac{\text{Дж}}{^\circ\text{C}}$.

13. У каларыметры знаходзіцца $m_1 = 272$ г лёду пры тэмпературы $t_1 = 0$ °C. Якую масу вадзяной пары трэба ўпусціць у каларыметр, каб расплавіць увесь лёд? Тэмпература пары $t = 100$ °C. Цеплаёмістасць каларыметра і страты энергіі не ўлічваюць.



14. Сумесь вадкі масай $m_1 = 7,5$ кг і лёду масай $m_2 = 2,5$ кг, якая знаходзіцца пры тэмпературы $t_1 = 0$ °C, неабходна нагрэць да тэмпературы $t_2 = 50$ °C шляхам прапускання вадзяной пары, тэмпература якой $t_3 = 100$ °C. Вызначыце масу пары. Страты энергіі не ўлічваюць.

**Тэмы праектных заданняў па раздзеле «Цеплавья з'явы»**

1. Аўтамабіль, экалогія і чалавек. Іх камфортнае ўзаемадзеянне.
2. Вада: яе звычайныя і незвычайныя ўласцівасці.
3. Якім павінен быць тэрмас, каб скорасць змянення тэмпературы яго змесціва была мінімальнай?
4. Даследаванне залежнасці скорасці астывання вады ў чайніку ад яго формы, памераў і колеру.
5. Даследаванне залежнасці скорасці пераходу ў вадкі стан шакаладу ад яго складу і порыстасці.
6. Цеплавья з'явы на службе ў дачнікаў і жыхароў сяла.

2

Электрамагнітныя з'явы

- Што агульнае ў мабільнага тэлефона і маланкі?
- Чаму свеціць электрычная лампа?
- Ці можна аддзяліць адзін ад аднаго полюсы магніта?



Цяжка і нават немагчыма ўявіць сённяшняе жыццё без электрычнасці. Кожны дзень мы амаль аўтаматычна націскаем кнопкі і ўключаем самыя разнастайныя прыборы і тэхнічныя прылады, якія робяць наша жыццё камфортным. Электралямпы асвятляюць кватэры і вуліцы, электрапліта грэе, а халадзільнік ахаладжвае. Станкі, камп'ютары, радыёпрыёмнікі, тэлевізары, тэлефоны і інш. — усе гэтыя прыборы выкарыстоўваюць электрычнасць. Электрычнасць звязана з магнетызмам. З гэтымі цікавымі і вельмі важнымі электрамагнітнымі з'явамі мы пазнаёмімся ў гэтым раздзеле.

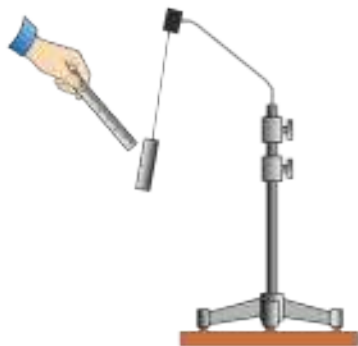


§ 12.

Электрызацыя цел. Узаемадзеянне зарадаў



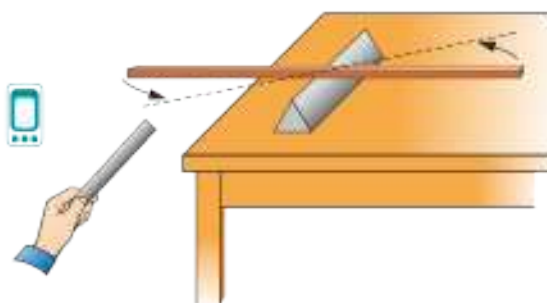
Мал. 78



Мал. 79



Мал. 80



Мал. 81

З электрычнасцю звязана не толькі праца сучасных прыбораў і тэхнічных прылад. Яна адыгрывае значна больш важную ролю. Электрычныя сілы ўзаемадзеяння атамаў і малекул забяспечваюць абмен рэчываў у арганізме чалавека. Што ж уяўляюць сабой электрычныя з'явы?

Слова «электрычнасць» паходзіць ад грэчаскай назвы бурштыну (*electron* — бурштын). Яшчэ старажытныя грэкі заўважылі, што бурштын, пацёрты аб тканіну, прыцягвае лёгкія целы.

Правядзём дослед. Патром аб сухую паперу пластмасавае цела (лінейку, раскоску). Яно пачне прыцягваць іншыя целы: крошкі пенапласту, дробна нарэзаную паперу (мал. 78), пух, станіэлевую гільзу (мал. 79).

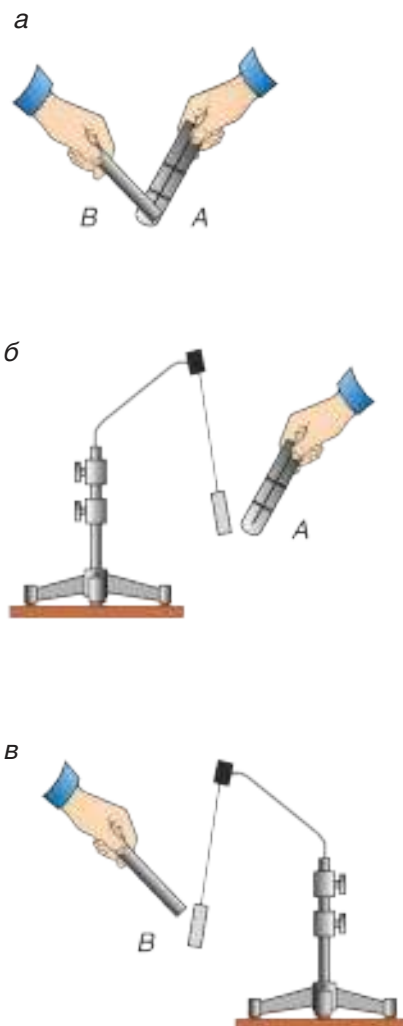
Гавораць, што цела (з пластмасы, шкла, фарфору і г. д.) пры трэнні электрызуецца, або **набывае электрычны зарад**.

У шэрагу выпадкаў дзеянне наэлектрызаваных цел можа быць вельмі значным. Напрыклад, пры паднясенні наэлектрызаванай палачкі скрыўляецца струмень вады (мал. 80), паварочваецца драўляная рэйка (лінейка) (мал. 81).

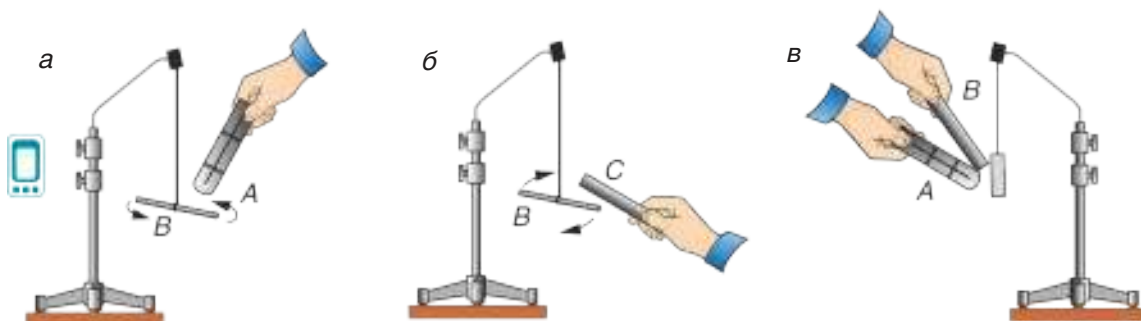
У XVIII ст. былі вызначаны дзве важныя ўласцівасці электрызацыі.

1. Пры трэнні электрызуюцца, або набываюць электрычны зарад, абодва целы (бурштын і тканіна, пластмасавая лінейка і папера). Само трэнне мала істотнае, яно толькі павялічвае плошчу судакранання цел. Пацвердзім сказанае доследам. Патром адно аб аднаго чыстыя і сухія кавалак гумавага шланга *A* і шкляную палачку *B* (мал. 82, *a*). І шланг, і палачка пасля гэтага прыцягваюць да сябе лёгкую гільзу (мал. 82, *б, в*). Значыць, электрычныя зарады з'явіліся ў абодвух цел.

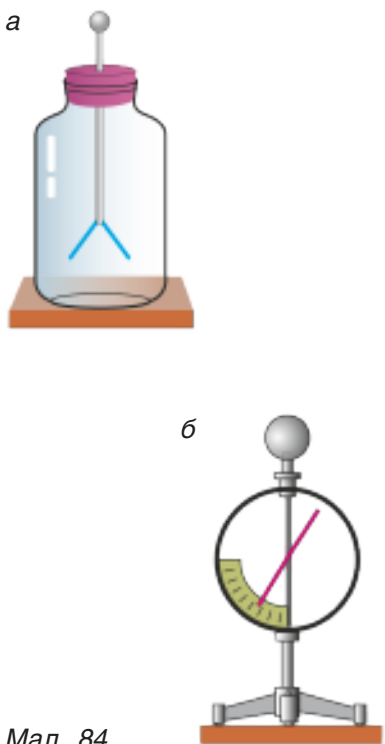
2. Зарады, якія з'яўляюцца на целах, прыныпова адрозніваюцца адзін ад аднаго. Яны рознаіменныя. У тым, што гэтыя зарады неаднолькавыя, лёгка пераканацца на доследзе. Падвесім на шаўковай нітцы наэлектрызаваную шкляную палачку *B*. Паднесём да яе наэлектрызаваны кавалак шланга *A*. Шкляная палачка *B* да яго прыцягваецца (мал. 83, *a*). Але калі паднесці да шкляной палачкі *B* пацёртую аб гуму шкляную палачку *C*, то палачка *B* ужо адштурхваецца (мал. 83, *б*). Значыць, электрычныя зарады, якія ўзнікаюць на шкле і гумі, **рознаіменныя**, і яны **прыцягваюцца**. А зарады, якія ўзнікаюць на шкляных палачках, **аднайменныя**, і яны **адштурхваюцца**.



Мал. 82



Мал. 83



Мал. 84

Працягнем дослед. Складзём разам пацёртыя адно аб аднаго кавалак шланга і шкляную палачку і паднясём іх да падвешанай гільзы (мал. 83, в). Дзеяння няма! Хоць зарады былі на абодвух целах (шлангу і палачцы), пры судакрананні яны нейтралізавалі адзін аднаго. Менавіта гэтым тлумачацца назвы электрычных зарадаў: **дадатны** (у шкла) і **адмоўны** (у гумы). Успомніце матэматыку: вынік складання двух роўных па модулі лікаў процілеглых знакаў роўны нулю ($-5 + 5 = 0$).

Такім чынам, **электрычнае ўзаемадзеянне** — гэта прыцяжэнне рознаіменна зараджаных цел і адштурхванне аднайменна зараджаных цел.

Адштурхванне аднайменна зараджаных цел ляжыць у аснове будовы прыбора для ацэнкі і параўнання велічыні *электрычнага зараду* (колькасці электрычнасці) — *электраскопа* (мал. 84, а). Ён уяўляе сабой шкляны балон, у які скрозь корак устаўлены металічны стрыжань. Да канца стрыжня прымацаваны лёгкія папяровыя лісточкі. Звонку на стрыжні знаходзіцца металічны шарык. Пры перадачы шарыку электраскопа, напрыклад, адмоўнага зараду мы зараджаем гэтым зарадам лісточкі электраскопа. Аднайменна зараджаныя лісточкі разыходзяцца на некаторы вугал, тым большы, чым большы перададзены электраскопу зарад.

Больш дасканалым прыборам з'яўляецца *электрометр*. Перададзены шарыку, а праз яго стрыжню і стрэлцы зарад выклікае адштурхванне стрэлкі ад зараджанага стрыжня. Ніжні канец стрэлкі перамяшчаецца пры гэтым па шкале з дзяленнямі (мал. 84, б).

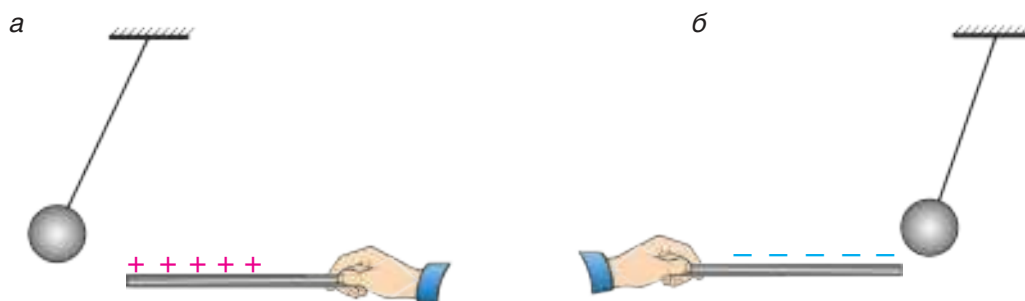
Галоўныя вывады

1. Пры кантакце двух розных цел абодва целы зараджаюцца і набываюць здольнасць да электрычнага ўзаемадзеяння.
2. Зарады, якія ўзнікаюць на целах, называюцца дадатнымі і адмоўнымі.
3. Аднайменна зараджаныя целы адштурхваюцца, а рознаіменна зараджаныя — прыцягваюцца.



Кантрольныя пытанні

1. Што такое электрызацыя трэннем? Якая роля трэння пры такой электрызацыі?
2. Чаму зарады атрымалі назву дадатных і адмоўных?
3. Для чаго выкарыстоўваецца электраскоп? Як ён працуе?
4. Які знак зараду шарыка, падвешанага на шаўковай нітцы і размешчанага паблізу ад зараджанай палачкі (мал. 85)?



Мал. 85

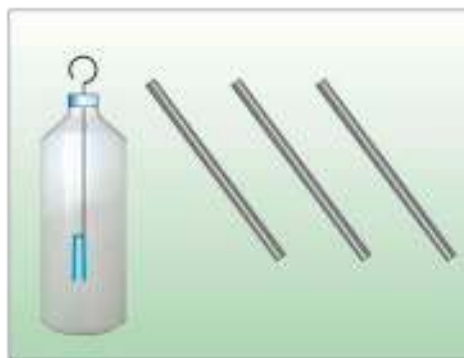


Дамашняе заданне

1. Вырабіце электраскоп. Да канца меднага дроту прымацуйце ніткай сагнутую папалам палоску тонкай паперы. Другім канцом дроту праткніце крышку бутэльні. Устаўце канец дроту з палоскай паперы ў бутэльку так, каб папера не дакраналася да сценак і дна. Закруціце крышку. Праверце, ці працуе электраскоп. Апішыце вынікі.

2. На малюнку 86 паказаны электраскоп і тры палачкі, адна з якіх зараджана дадатна, другая — адмоўна, трэцяя не мае зараду. Прапануйце спосабы вызначэння:

- а) якія палачкі маюць зарад;
- б) ці аднолькавыя абсалютныя велічыні зарадаў палачак.

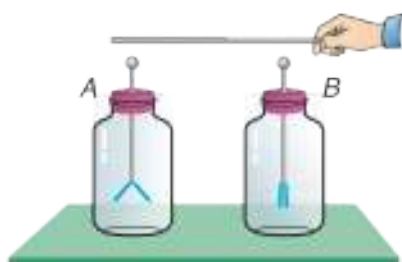


Мал. 86

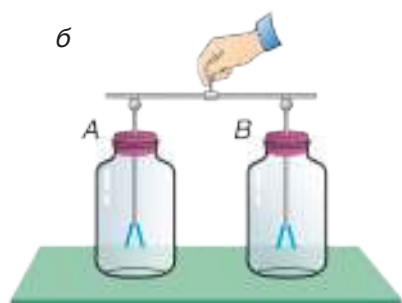
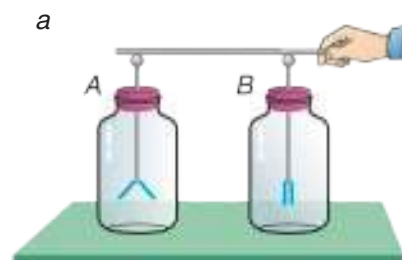


§ 13.

Праваднікі і дыэлектрыкі



Мал. 87



Мал. 88

Ці можна існуючы на наэлектрызаваным целе зарад перадаць іншаму целу? Ці прыйдзе, напрыклад, зарад ад зараджанага электраскопа *A* да незараджанага электраскопа *B* (мал. 87), калі іх злучыць перамычкай?

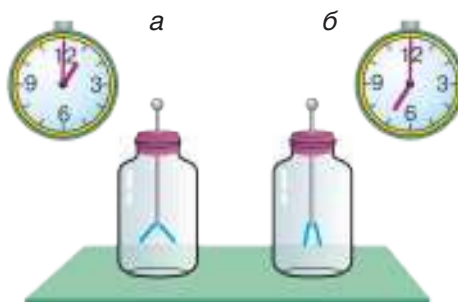
Праверым гэта на доследзе, выкарыстаўшы для злучэння зараджанага *A* і незараджанага *B* электраскопаў перамычкі з розных рэчываў. Дослед паказвае, што праз перамычку з такіх рэчываў, як шкло, гума, розныя пластмасы, зарад з зараджанага электраскопа *A* на незараджаны *B* не пераходзіць (мал. 88, *а*). Гэтыя рэчывы з'яўляюцца **дыэлектрыкамі** (іх часта называюць **ізалятарамі**). Менавіта з такіх рэчываў выраблены абалонкі правадоў, разеткі, выключальнікі, ручкі адвёртак (мал. 89) і г. д. Дыэлектрыкам з'яўляецца і сухое паветра.

Калі ж злучыць электраскопы *A* і *B* перамычкай з любога металу, частка электрычнага зараду прыйдзе да электраскопа *B* (мал. 88, *б*). Гэта значыць, што металы (і ў цвёрдым, і ў вадкім станях) — тыповыя прадстаўнікі **праваднікоў**. Да праваднікоў адносяцца таксама большасць вадкасцей: растворы кіслот, солей, уключаючы звычайную пітную ваду. Правадніком з'яўляецца і цела чалавека, якое складаецца больш чым на дзве трэці з вадкасці.

Вельмі важна разумець, што ідэальных дыэлектрыкаў няма. У любога дыэлектрыка можна вы-



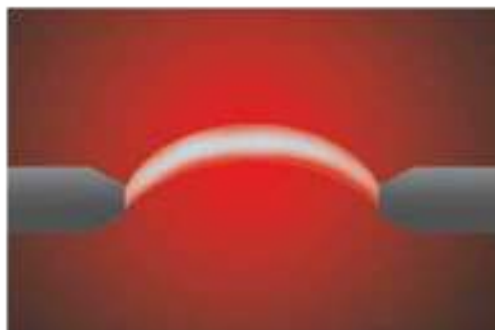
Мал. 89



Мал. 90



Мал. 91



Мал. 92

явіць хоць мінімальную праводнасць. Так, калі пакінуць на некалькі гадзін зараджаны электраскоп (мал. 90, а, б), то яго зарад паменшыцца, што гаворыць аб наяўнасці некаторай праводнасці ў паветра.

Усе вы неаднаразова назіралі маланку (мал. 91). Маланка, электрычная дуга пры зварцы металаў (мал. 92) сведчаць аб тым, што паветра пры пэўных умовах становіцца вельмі добрым правадніком.

Нават такія выдатныя дыэлектрыкі, як фарфор і шкло, могуць ператварацца ў праваднікі. Менавіта таму ў лініях электраперадач прымяняюцца цэлыя гірлянды ізалятараў (мал. 93).



Мал. 93



Для дапытлівых

Існуе яшчэ адна група рэчываў — паўправаднікі. У гэтых рэчываў (напрыклад, германію Ge, крэмнію Si) здольнасць праводзіць зарад (праводнасць) у шмат разоў горшая, чым у праваднікоў (металаў). Вельмі важна, што праводнасць паўправаднікоў можна значна павялічваць рознымі ўздзеяннямі: награваннем, асвятленнем, радыяцыйным апраменьваннем. Гэта звязана з асаблівасцю будовы рэчываў гэтай групы. Менавіта паўправаднікі дазволілі стварыць вельмі складаныя прылады: сонечныя батарэі для спадарожнікаў, камп'ютар, калькулятар, мабільны тэлефон (мал. 94) і многае іншае. З гэтай групай рэчываў вы пазнаёміцеся падрабязней пры вывучэнні фізікі ў 10-м класе.



Мал. 94

Галоўныя вывады

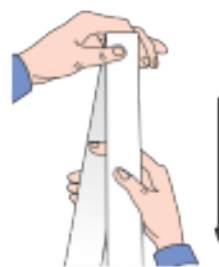
1. Электрычны зарад можа перамяшчацца ўнутры цела або ад аднаго цела да другога.
2. Рэчывы, у якіх магчыма перамяшчэнне зараду, называюцца праваднікамі.
3. Рэчывы, у якіх перамяшчэнне зараду адбываецца з цяжкасцю, называюцца дыэлектрыкамі (ізалятарамі).

Кантрольныя пытанні

1. У чым адрозненне праваднікоў ад дыэлектрыкаў?
2. Як можна вызначыць, ці з'яўляецца дадзенае рэчыва правадніком або дыэлектрыкам?
3. Якімі доследамі можна пацвердзіць дыэлектрычныя ўласцівасці паветра?
4. Калі дакрануцца пальцам да шарыка зараджанага электраскопа, то зарад на прыборы знікне. Якія можна зрабіць з гэтага вывады?
5. Чаму ў вільготным памяшканні доследы па электрызацыі могуць «не атрымлівацца»?
6. Што такое ідэальны дыэлектрык? Ці існуе ён?

Дамашняе заданне

Вазьміце дзве вузкія сухія палоскі газетнай паперы і правядзіце па іх пальцамі сухіх рук (мал. 95). Растлумачце паводзіны палосак. Дзеянне якога прыбора ілюструе гэты дослед?



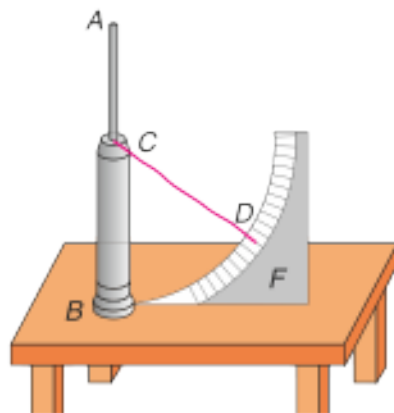
Мал. 95

Практыкаванне 10

1. Чаму падчас надзявання світара ён прыліпае да кашулі? Чаму праз некаторы час прыліпанне знікае?

2. На малюнку 96 паказана частка ўстаноўкі, прымененай рускім вучоным Г. В. Рыхманам для вывучэння электрычных з'яў. Пры перадачы металічнаму стрыжню AB зараду баваўняная нітка CD адхілялася і яе канец перамяшчаўся па шкале F . Што вымяраў гэты прыбор?

3. Якім простым спосабам можна разрадзіць электраскоп, г. зн. зняць з прыбора раней атрыманы ім зарад?



Мал. 96

4. Два зараджаныя праводзячыя шары злучылі правадніком. Як размяркуецца паміж імі зарад, калі шары аднолькавага памеру і выраблены з аднаго і таго ж металу?

5. Як можна паменшыць электрычны зарад на праводзячым целе (металічным шарыку) роўна ўдвая? У чатыры разы?

6. Амаль да канца XVIII ст. лічылі, што металічныя і вільготныя целы не электрызуюцца пры трэнні. На чым грунтавалася гэта няправільнае меркаванне?

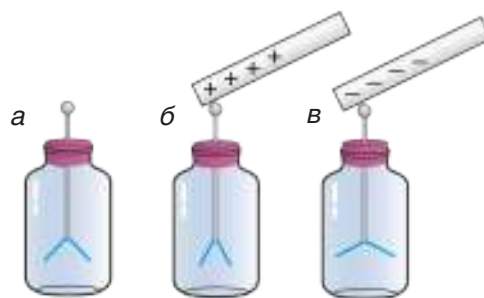
7. Чаму на некаторых вытворчасцях (прадзільных, паліграфічных) штучна падтрымліваюць высокую вільготнасць паветра?



8. Праводзячым шарыкам *A* і *B* надалі роўныя рознаіменныя зарады, а затым папярэдне разраджаным шарыкам — такія ж аднайменныя зарады. Ці будуць сілы прыцяжэння шарыкаў у першым выпадку роўны сілам адштурхвання шарыкаў у другім?

9. Ці можна наэлектрызаваць металічную ложку? Як?

10. На малюнку паказаны зараджаны электраскоп (мал. 97, *a*) і яго стан пасля таго, як да яго шарыка дакрануліся: а) дадатна зараджанай палачкай (мал. 97, *б*); б) адмоўна зараджанай палачкай (мал. 97, *в*). Якога знака зарад быў на электраскопе спачатку?

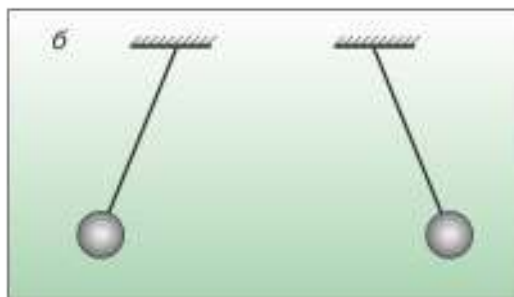
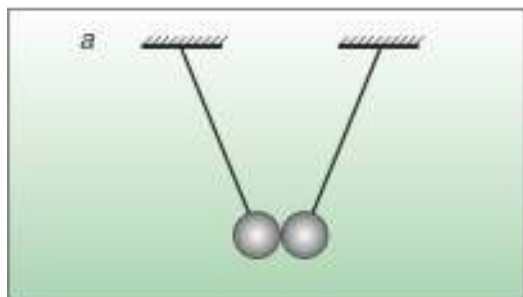


Мал. 97

11. Два шарыкі, што вісяць на нітках і нясуць зарад, спачатку прыцягнуліся (мал. 98, *a*), а потым разышліся на некаторы вугал (мал. 98, *б*). Як можна растлумачыць гэту з'яву?

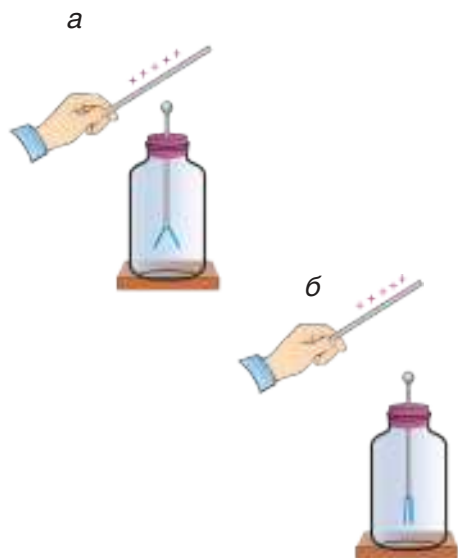
12. Пры руху аўтамабіля ў сухое надвор'е з-за трэння шын аб асфальт назапашваецца вялікі электрычны зарад. Якую ролю ў аўтамабілі, які перавозіць вогненебяспечныя вадкасці, адыгрывае прымацаваны металічны ланцуг, які цягнецца па асфальце?

13. Як, выкарыстаўшы эбанітавую палачку, кавалак футра і два электрометры, эксперыментальна вызначыць, правадніком ці дыэлектрыкам з'яўляецца скураны рэмень?

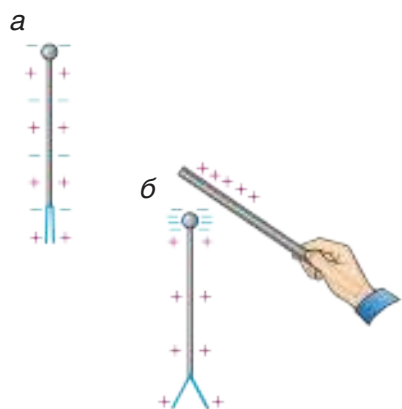


Мал. 98

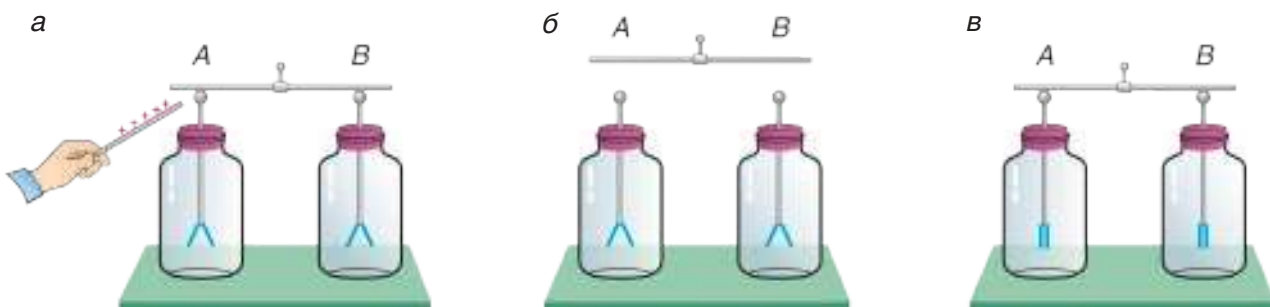
§ 14.

Електризація
праз уплыў

Мал. 99



Мал. 100



Мал. 101

Мы ўжо ведаем, што зараджанае цела прыцягвае да сябе другое зараджанае цела, калі іх зарады рознаіменныя. Але чаму да зараджанага цела прыцягваюцца незараджаныя целы (пух, кавалачкі паперы, струмень вады, падвешаная гільза) (гл. мал. 78—80)?

Для адказу на пастаўленае пытанне правядзём дослед. Паднясём да шарыка незараджанага электраскопа (электромметра), не дакранаючыся да яго, наэлектризованую палачку. Электраскоп фіксуе з'яўленне на лісточках зараду (мал. 99, а). Прымем палачку — лісточкі спадаюць (мал. 99, б). Значыць, зарад ад палачкі на лісточкі электраскопа праз паветра не перайшоў, а з'явіўся пад уплывам зараду палачкі.

Ведаючы, што зарад можа перамяшчацца ў цэле, мы можам растлумачыць тое, што адбылося. У любым незараджаным цэле заўсёды ёсць роўныя колькасці зарадаў процілеглых знакаў, раўнамерна размеркаваных па ўсім цэле (мал. 100, а). Зарад на паднесенай да электраскопа палачцы прыцягвае да сябе рознаіменны і адштурхвае аднаіменны зарад на стрыжні і лісточках электраскопа (мал. 100, б), што і тлумачыць з'яўленне зараду на лісточках.

Гэта можна пацвердзіць больш наглядным доследам. Паднясём наэлектризованую палачку да аднаго з двух незараджаных электраскопаў, злу-

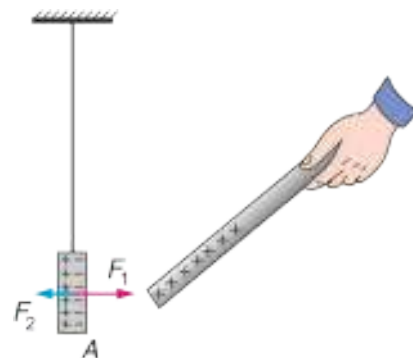
чаных праводзячай перамычкай. Абодва прыборы фіксуюць з'яўленне зараду (мал. 101, а). Не аддаляючы палачку, прыем спачатку перамычку, а потым палачку. Зарады застаюцца на абодвух прыборах (мал. 101, б). Гэтыя зарады роўныя па модулі і процілеглыя па знаку. У гэтым можна пераканацца, зноў злучыўшы прыборы перамычкай, — зарады нейтралізуюць адзін аднаго (мал. 101, в).

Пераразмеркаванне зараду ў цэле, якое выклікаецца ўздзеяннем другога зараджанага цела, называецца электрызацыяй праз уплыў.

Цяпер зразумела, чаму да зараджанага цела прыцягваюцца незараджаныя целы. У незараджаным цэле (станіёлевай гільзе) (мал. 102) пад уздзеяннем зараджанага цела (палачкі) адбываецца пераразмеркаванне зараду, і на процілеглых яго баках узнікаюць два роўныя рознаіменныя зарады. Гэта стварае і сілу прыцяжэння F_1 , і сілу адштурхвання F_2 . Паколькі зарад процілеглага знака размешчаны бліжэй да палачкі, то модуль сілы прыцяжэння F_1 большы за модуль сілы адштурхвання F_2 . У выніку незараджаная гільза прыцягваецца да зараджанай палачкі. Дакажыце самастойна, што такі ж вынік будзе, калі да гільзы паднесці не шкляную, а эбанітавую наэлектрызаную палачку.

Электрызацыя праз уплыў адбываецца надзвычай часта. Напрыклад, з прычыны электрызацыі праз уплыў з'яўляецца маланка (навальнічны разрад). Ніжняя частка воблака, зараджаная адмоўна (мал. 103), выклікае пераразмеркаванне зараду ў глебе, дрэвах, дамах і г. д. Пры вялікай велічыні зараду паміж воблакам і паверхняй Зямлі ўзнікае разрад (маланка).

Электрызацыя праз уплыў адыгрывае важную ролю ў шматлікіх тэхнічных прыладах, з якімі вы пазнаёміцеся пры наступным вывучэнні фізікі. У кабінетах фізікі часта прымяняюць вынайздзеную яшчэ ў XVIII ст. электрафорную машыну (мал. 104), у якой выкарыстоўваецца



Мал. 102



Мал. 103



Мал. 104

як электрызацыя трэннем, так і электрызацыя праз уплыў, што дазваляе ствараць на шарыках A і B прыбора значныя рознаіменныя электрычныя зарады.

Галоўныя вывады

1. Наэлектрызаванае цела можа выклікаць у другім цэле пераразмеркаванне зарадаў (электрызацыя праз уплыў).
2. Пры паднясенні зараджанага цела на бліжнім да яго баку незараджанага цела ўзнікае зарад процілеглага знака.
3. Зарады, якія з'яўляюцца пры электрызацыі праз уплыў у частках цела, абавязкова роўныя па модулі і процілеглыя па знаку.
4. Электрызацыяй праз уплыў тлумачыцца прыцяжэнне незараджаных цел да зараджаных незалежна ад знака зараду.

Кантрольныя пытанні

1. У чым сутнасць электрызацыі праз уплыў? Чаму яна магчыма?
2. Як даказаць, што пры электрызацыі праз уплыў зарады частак цела процілеглыя па знаку?
3. У чым адрозненне электрызацыі трэннем і электрызацыі праз уплыў?
4. Як тлумачыцца прыцяжэнне незараджаных цел да зараджаных?

Дамашняе заданне

Патрыце пластмасавую лінейку сухой паперай. Паднясіце лінейку да валасоў галавы, не крапаючы іх. Растлумачце вынік доследу.

Практыкаванне 11

1. Чым тлумачыцца пераразмеркаванне зарадаў у цэле пры электрызацыі праз уплыў?

2. Як можна з дапамогай шкляной палачкі наэлектрызаваць два праводзячыя целы: адно — дадатным, другое — адмоўным зарадам?

3. Лёгкая незараджаная станіёлевая гільза, падвешаная на ізаляючай нітцы, прыцягнулася да адмоўна зараджанай палачкі, дакранулася да яе і адразу адштурхнулася ад яе. Чаму? Як будзе праходзіць дослед пры паднясенні да гільзы дадатна зараджанай палачкі?

4. Калі паднесці руку да зараджанай падвешанай гільзы, то гільза прыцягнецца да рукі. Растлумачце, што адбываецца.

5. Перададзім значны электрычны зарад пласцінцы з наклеенымі ніткамі або палоскамі тонкай паперы. Як растлумачыць узнікненне «вожыка» (мал. 105, а)? Паспрабуйце пальцам дакрануцца да такога «вожыка». Чаму «іголка вожыка» пачынаюць «лавіць» ваш палец (мал. 105, б)?

6. Адну металічную пласціну зарадзілі адмоўным зарадам і паднеслі да другой такой самай, але незараджанай пласціны (мал. 106). Якія змяненні адбудуцца з другой пласцінай? Чаму?

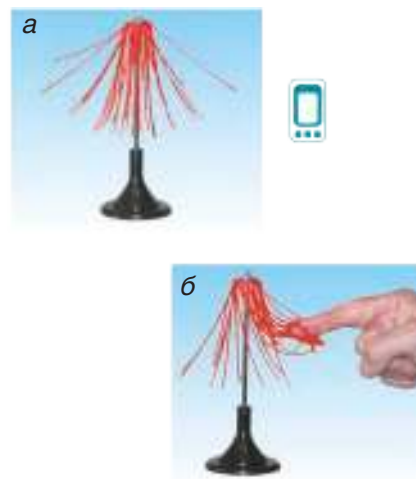
7. Адмоўна зараджаная пластмасавая лінейка прыцягвае падвешаную на нітцы папяровую гільзу. Ці азначае гэта, што гільза зараджана дадатна? Калі гільза адштурхваецца, то ці азначае гэта, што яна зараджана адмоўна?

8. Дзве лёгкія папяровыя гільзы, з якіх адна зараджаная, а другая незараджаная, падвешаны на тонкіх шаўковых нітках. Прапануйце спосаб вызначэння, якая з гільз зараджаная.

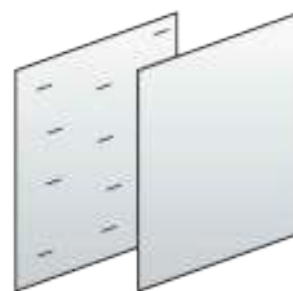


9. Ці могуць два металічныя шарыкі, зараджаныя зарадам аднаго знака, прыцягвацца адзін да аднаго? Чаму?

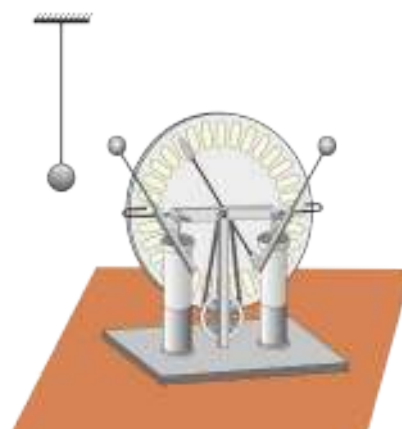
10. На малюнку 107 паказаны лёгкі незараджаны шарык з фольгі, падвешаны на шаўковай нітцы. Растлумачце, чаму шарык пасля таго, як пачынаюць круціць ручку электрафорнай машыны, спачатку прыцягваецца да электрода машыны, а потым, дакрануўшыся да яго, адштурхваецца.



Мал. 105



Мал. 106



Мал. 107



§ 15.

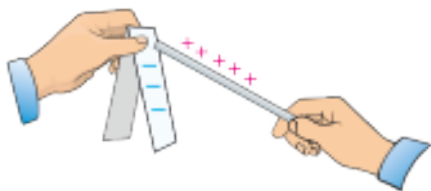
Электрычны зарад. Элементарны зарад

Разглядаючы ўзаемадзеянне электрычных зарадаў, іх перамяшчэнне ў целах, мы не закраналі вельмі важныя пытанні. Напрыклад, што такое электрычны зарад? Што адбываецца пры электрызацыі цел? Ці можа электрычны зарад мець любое, нават неабмежавана малое, значэнне?

Упершыню думка пра тое, што існуе гранічная, больш непадзельная «порцыя» электрычнага зараду, была выказана выдатным англійскім вучоным М. Фарадэем (XIX ст.), якому, дарэчы, належыць і сам тэрмін **электрычны зарад**. Другі англійскі вучоны Дж. Дж. Томсан адкрыў, што ў атамах усіх рэчываў ёсць часціца, якая валодае **адмоўным** зарадам. Гэту часціцу назвалі **электрон**. У шэрагу рэчываў (асабліва ў металаў) электроны могуць дастаткова лёгка пакідаць атам. Складанымі доследамі было даказана, што зарад любога электрона мае заўсёды адно і тое ж значэнне і з'яўляецца найменшым, больш непадзельным. Гэта самая малая «порцыя электрычнасці» была названа **элементарным зарадам**.

У складзе атама была выяўлена і часціца, якая валодае **элементарным дадатным** зарадам. Гэта — **прэтон**. Адкрыццё электрона і прэтона дазволіла проста растлумачыць электрызацыю цел. У ненаэлектрызуваным (электранейтральным) целе сумарны адмоўны зарад усіх электронаў роўны па модулі сумарнаму дадатнаму зараду ўсіх прэтонаў. Пры кантакце цел, напрыклад шкла і паперы (мал. 108), значная колькасць электронаў пакідае шкло, пераходзячы да паперы. Папера набывае адмоўны зарад. Шкло пры гэтым зараджаецца дадатным зарадам. Гэта абумоўлена тым, што сумарны зарад усіх прэтонаў шкла становіцца большым за сумарны зарад электронаў, што засталіся.

Важна зразумець, што электрычны зарад часціц (электрона, прэтона) не ёсць нешта, даданае да іх. Электрычны зарад — гэта велічыня, якая характарызуе **неад'емную ўласцівасць электрона і прэтона да электрычнага ўзаемадзеяння з любымі зараджанымі часціцамі**. Ці можна адняць у часціцы (электрона, прэтона) зарад? Не. Пры электрызацыі трэннем ад цела да цела пераходзіць не ўласцівасць часціц, а **самі часціцы**. Як правіла, гэта электроны.



Мал. 108

Як і ўсякую фізічную велічыню, электрычны зарад, які называюць яшчэ колькасцю электрычнасці, неабходна вымяраць, г. зн. трэба ўвесці адзінку зараду. Такая адзінка ў СІ носіць назву **кулон** (скарочана **Кл**) у гонар французскага вучонага Ш. А. Кулона. Строгае азначэнне гэтай адзінкі мы дадзім некалькі пазней. Адзін кулон — вельмі вялікі зарад. Ва ўсіх апісаных доследах зарад цела складаў у лепшым выпадку мільённыя долі кулона. Элементарны зарад роўны

$$e = 0,000\,000\,000\,000\,000\,000\,16 \text{ Кл},$$

што зручна запісваць у стандартным выглядзе $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$.

Для выражэння значэнняў электрычных зарадаў выкарыстоўваюць долевыя адзінкі кулона:

$$\begin{aligned} 1 \text{ мКл (мілікулон)} &= 1 \cdot 10^{-3} \text{ Кл}; \\ 1 \text{ мкКл (мікракулон)} &= 1 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}; \\ 1 \text{ нКл (нанакулон)} &= 1 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}; \\ 1 \text{ пКл (пікакулон)} &= 1 \cdot 10^{-12} \text{ Кл}. \end{aligned}$$

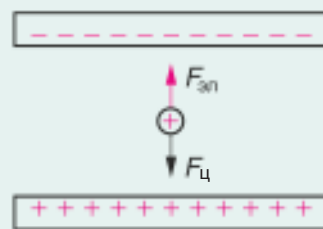
Звярніце ўвагу, што любы, нават самы малы, зарад цела змяшчае цэлы лік элементарных зарадаў. Зарад цела абазначаецца літарай q . Тады

$$q = eN,$$

дзе N — цэлы лік ($N = 1, 2, 3, \dots$).

Для дапытлівых

Доследы, якія дазволілі знайсці «найменшую порцыю электрычнасці», г. зн. элементарны зарад, былі праведзены ў 1910—1913 гг. Р. Э. Мілікенам у ЗША і А. Ф. Іофе ў Расіі. У гэтых доследах зараджаная вельмі малая кропелька алею (у доследах Р. Э. Мілікена) або пылінка цынку (у доследах А. Ф. Іофе) «завісала» паміж зараджанымі пласцінамі (мал. 109). Электрычная сіла $F_{эл}$, якая кампенсуе сілу цяжару $F_{ц}$, залежала ад зараду кропелькі (пылінкі), што дазволіла вучоным меркаваць аб значэнні гэтага зараду. У абодвух доследах былі атрыманы аднолькавыя вынікі. Зарад кропелькі алею (пылінкі) не мог прымаць любое значэнне. Гэта значэнне заўсёды было кратна аднаму і таму ж ліку — $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$.



Мал. 109

■ Галоўныя вывады

1. Электрычны зарад часціц, якія ўваходзяць у атам (электронаў, пратонаў), неаддзельны ад саміх часціц.
2. Электрычны зарад любога зараджанага цела дыскрэтны, г. зн. кратны найменшаму элементарнаму зараду ($q = eN$).
3. Электрызацыя цел тлумачыцца перамяшчэннем электронаў ад цела да цела (электрызацыя трэннем) або ад адной часткі цела да другой (электрызацыя праз уплыў).
4. Адзінкай зараду ў СІ з'яўляецца 1 Кл.

? Кантрольныя пытанні

1. Як разумець выраз: «Электрычны зарад любога цела дыскрэтны»?
2. Што азначае паняцце «элементарны зарад»?
3. Якая часціца атама валодае элементарным дадатным зарадам? Адмоўным зарадам?
4. Як тлумачыцца з'яўленне адмоўнага зараду на эбанітавай палачцы пры трэнні аб шэрсць?

Практыкаванне 12

1. Выразіце ў кулонах зарад металічнай гільзы: а) $q = 0,12$ мКл; б) $q = 84$ пКл; в) $q = -56$ нКл; г) $q = -968$ мкКл.

2. Пры расчэсванні валасоў пластмасавая папярэдне незараджаная расческа атрымала зарад $q = 6,4 \cdot 10^{-11}$ Кл. Якіх часціц (пратонаў або электронаў) пасля трэння ў расчосцы аказалася больш? Які зарад атрымалі пры электрызацыі валасы? Колькі элементарных зарадаў змяшчае зарад расчоскі?

3. У выніку трэння аб баваўняную тканіну эбанітавая палачка набыла адмоўны зарад $q = -736$ нКл. Лішак або недахоп электронаў утварыўся ў палачцы? Які зарад набыла баваўняная тканіна? Да трэння і палачка, і тканіна былі электранейтральнымі. Колькі элементарных зарадаў змяшчае зарад эбанітавай палачкі?

4. Пры электрызацыі маса металічнага шарыка паменшылася на $\Delta m = 2,73 \cdot 10^{-27}$ кг. Які зарад набыў шарык? Маса аднаго электрона $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг.



§ 16.

Будова атама. Іоны

У пачатку XX ст. было дакладна вядома, што ў склад атамаў усіх рэчываў уваходзяць адмоўна зараджаныя часціцы — электроны. Было выяўлена, што электроны не звязаны жорстка ў атаме і могуць нават пакідаць атам. Паколькі атам нейтральны, то ў ім, безумоўна, павінен быць і дадатны заряд. Але дзе знаходзіцца дадатны заряд у атаме?

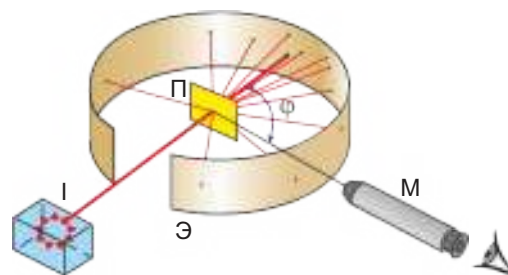
Фундаментальны дослед, які адыграў прынцыповую ролю ў навуцы па вивучэнні будовы атама, быў праведзены ў 1911 г. англійскім вучоным Э. Рэзерфардам (гл. форзац 1).

Сутнасць доследу можна зразумець з такога параўнання. Няхай трэба праверыць, не дакранаючыся да прадмета, аднародны ён ці не. Напрыклад, ці не схаваны ў стоце сена металічны прадмет. Гэта можна зрабіць, знаходзячыся ўдалечыні ад стога, выкарыстоўваючы дробнакаліберную вінтоўку і вялікі фанерны шчыт (мал. 110). Будзем страляць у стог па розных напрамках і па прабоінах у шчыце меркаваць аб траекторыі ўсіх куль. Пры аднароднасці стога не будзе ніводнага рыкашэту (адбіцця). Яны з'явяцца пры наяўнасці ў стоце металічнага прадмета, прычым лік рыкашэтаў будзе залежаць ад памераў прадмета (напрыклад, кілаграмавай гіры або гімнастычнай 32-кілаграмавай).

У доследах Рэзерфарда (мал. 111) найтанчэйшая плёнка з золата П абстрэльвалася дадатна зараджанымі часціцамі, затым ацэньваліся траекторыі іх руху пасля праходжання плёнкі. Доследы Рэзерфарда (больш падрабязна аб іх пойдзе гаворка ў 11-м класе) пераканаўча паказалі, што атам **неаднародны**. Інакш, як растлумачыць, што некаторыя дадатна зараджаныя часціцы змянялі напрамак руху, хаця колькасць такіх часціц была надзвычай малой. Дослед дазволіў сцвярджаць, што больш за 99,96 % масы атама і ўвесь



Мал. 110



Мал. 111

дадатны зарад сканцэнтраваны ў надзвычай малой вобласці ў цэнтры атама, якую назвалі **ядром атама**. Рэзерфард ацаніў памер ядра атама. Яго дыяметр прыкладна ў 10^4 — 10^5 разоў меншы за дыяметр самога атама. Суадносіны гэтых памераў прыкладна такія ж, як суадносіны памераў рысавага зярняці і футбольнага поля.

Пазней (у 1919 г.) эксперыментальна былі выяўлены носьбіты дадатнага зараду ядра — **пратоны** (ад грэч. *protos* — першасны, асноўны). Пратоны з'яўляюцца асновай (базай) ядзер усіх атамаў. Акрамя пратонаў, у ядры знаходзяцца незараджаныя часціцы — **нейтроны** (мал. 112).

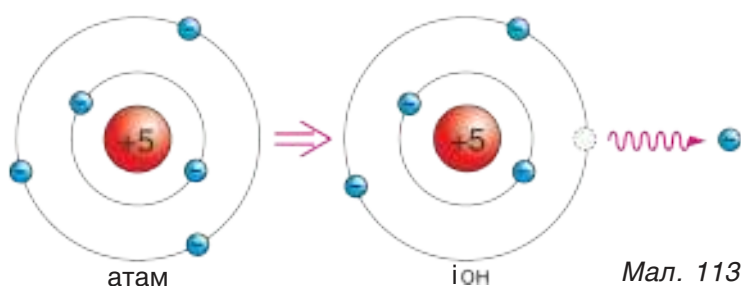
Вакол ядра на вельмі вялікай адлегласці ў параўнанні з памерамі ядра бесперапынна рухаюцца адмоўна зараджаныя **электроны**, якія ўтрымліваюцца электрычным прыцягненнем да яго. Аднак прыпісаць нейкую пэўную арбіту электрону ў атаме немагчыма. Ён нібы размыты ў пэўным аб'ёме прасторы, таму мы можам гаварыць толькі аб **электронных абалонках** атама (гл. мал. 112).

У непроводзячых асяроддзях (дыэлектрыках) электроны дастаткова моцна «звязаны» з ядром і рэдка пакідаюць атам. У правадніках (металах) адзін або некалькі электронаў пакідаюць атам і свабодна перамяшчаюцца ўнутры правадніка. Лік пратонаў у ядры атама роўны ліку электронаў на абалонках (гл. мал. 112), што і забяспечвае электранейтральнасць атама.

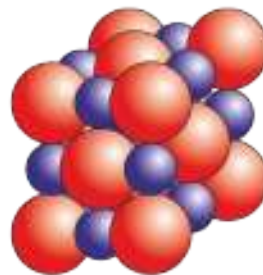


Мал. 112

Пры выхадзе з атама аднаго або некалькіх электронаў атам становіцца **дадатна зараджанай часціцай — іонам** (мал. 113). Магчымы і адваротны працэс, пры якім атамы некаторых рэчываў далучаюць «лішкавыя» электроны і ператвараюцца ў **адмоўныя іоны**. Напрыклад, звычайная кухонная соль складаецца не з нейтральных атамаў натрыю і хлору, а з дадатных іонаў натрыю і адмоўных іонаў хлору, якія ўтвараюць пэўную структуру (мал. 114). Пры растварэнні ў вадзе кухоннай



Мал. 113



Мал. 114

солі гэтыя іоны аддзяляюцца адзін ад аднаго, што робіць вадкасць добрым правадніком. Невялікая колькасць іонаў абодвух знакаў заўсёды ёсць і ў газах — успомніце дослед з павольнай стратай зараду электраскопам!

▼ Для дапытлівых

Амерыканскі вучоны Б. Франклін меркаваў, што электрычнасць уяўляе сабой вадкую субстанцыю, якая знаходзіцца ва ўсіх рэчывах. Франклін быў бухгалтарам. Карыстаючыся бухгалтарскай тэрміналогіяй, ён выкарыстаў знак «+» для абазначэння лішку электрычнай вадкасці ў целах. Такія целы ён назваў дадатна зараджанымі. Знак «-» выкарыстоўваўся Франклінам для абазначэння недахопу электрычнай вадкасці ў параўнанні з яе нармальнай колькасцю ў рэчыве. Рэчывы, якія мелі недахоп гэтай вадкасці, ён назваў адмоўна зараджанымі. Рэчывы ж, у якіх не было ні недахопу, ні лішку электрычнай вадкасці, былі названы ім нейтральнымі.

Затым Франклін выказаў меркаванне, што калі прывесці ў судакрананне цела з лішкам і цела з недахопам электрычнай вадкасці, то вадкасць будзе перацякаць ад цела з лішкам электрычнай вадкасці да цела з яе недахопам. Іншымі словамі, ён выказаў здагадку, што электрычная вадкасць павінна цячы ад дадатна зараджанага да адмоўна зараджанага цела, г. зн. ад «+» да «-». Ці бачыце вы, у чым слабасць тэорыі Франкліна?

■ Галоўныя вывады

1. Дадатны зарад атама сканцэнтраваны ў вельмі малой частцы атама — ядры — і вызначаецца лікам пратонаў у ім.
2. Адмоўным зарадам у атаме валодаюць электроны. Іх лік роўны ліку пратонаў у ядры.
3. Электроны могуць пакідаць атамы, ствараючы праводнасць рэчыва.
4. Пры страце нейтральным атамам (або пры атрыманні ім) электронаў утвараецца дадатны (або адмоўны) іон.

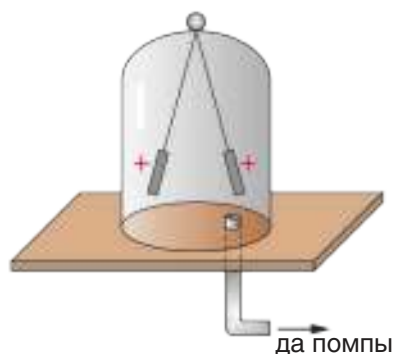
? Кантрольныя пытанні

1. У чым сутнасць доследаў Рэзерфарда?
2. Якая мадэль будовы атама прапанавана, зыходзячы з доследаў Рэзерфарда?
3. Якія прыкладныя суадносіны паміж памерамі атама і яго ядра?
4. Як растлумачыць, зыходзячы з будовы атама, дзяленне рэчываў на праваднікі і дыэлектрыкі?
5. Што называюць дадатным іонам? Адмоўным іонам?



§ 17.

Электрычнае поле. Электрычнае напружанне



Мал. 115

Якім чынам два зараджаныя целы дзейнічаюць адно на адно? Ці будуць узаемадзейнічаць зараджаныя целы ў пустаце (пры адсутнасці асяроддзя)? Усе доследы паказваюць, што зараджаныя целы могуць узаемадзейнічаць нават у пустаце (мал. 115). Чаму гэта магчыма?

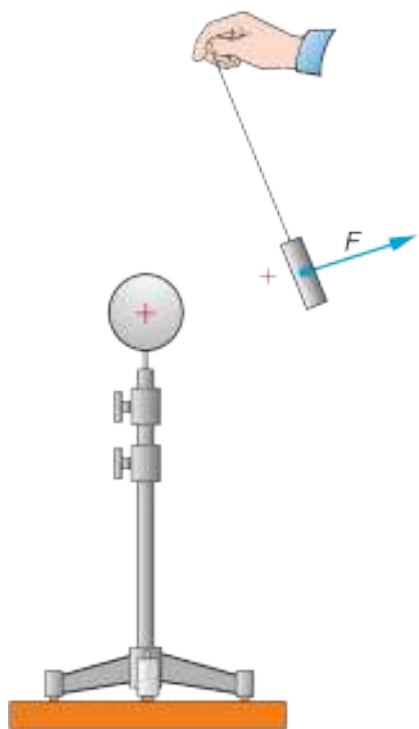
З перадачай дзеяння без асяроддзя мы ўжо знаёмы — гэта сусветнае прыцяжэнне. Менавіта дзякуючы полю прыцяжэння, пра якое гаварылася ў вучэбным дапаможніку «Фізіка, 7», Сонца ўтрымлівае на арбіце нашу Зямлю, аддаленую ад яго на 150 млн км. Поле прыцяжэння Зямлі прымушае падаць целы на яе паверхню, утрымлівае на арбітах Месяц і штучныя спадарожнікі Зямлі.

Аналагічна гэтаму вакол цел, якія валодаюць электрычным зарадам, таксама існуе асаблівы стан прасторы — **электрычнае поле**.

Гэта поле не дзейнічае на вядомыя вам прыборы: дынамометр, тэрмометр, барометр — і на нашы органы пачуццяў (зroku, дотыку, нюху, слыху). Можна ўзнікнуць сумненне: а ці існуе электрычнае поле наогул? Так, яно існуе рэальна і незалежна ад таго, што мы пра яго ведаем. Рэальнасць існавання электрычнага поля пацвярджаецца яго **канкрэтным дзеяннем**: яно **дзейнічае на ўнесены зарад з пэўнай сілай F** (мал. 116).

У навуцы ўсё тое, што рэальна існуе ў навакольным свеце незалежна ад нашай свядомасці, называецца *матэрыяй*. Значыць, *электрычнае поле* — гэта *асобая форма матэрыі*.

Менавіта электрычнае поле, ствараемае зараджанай хмарай (мал. 117), выклікае з'яўленне рознаіменнага зараду (электрызацыя праз уплыў) на паверхні Зямлі (пад хмарай).



Мал. 116

Для дапытлівых

Чалавек навучыўся абараняцца ад шкодных дзеянняў электрычнага поля і выкарыстоўваць яго ў сваіх мэтах. Усталяваўшы над будынкамі і збудаваннямі заостраны дрот, другі канец якога злучаны з зямлёй (маланкаадвод) (гл. мал. 117), мы ствараем умовы для павольнага перацякання зараду хмары на зямлю і такім чынам можам паступова «разрадіць» яе.

Электрычнае поле прымушае наэлектрызаваныя часцінкі чорнай фарбы пападаць на патрэбныя ўчасткі паперы, на чым заснавана ксеракапіраванне (мал. 118).



Мал. 117



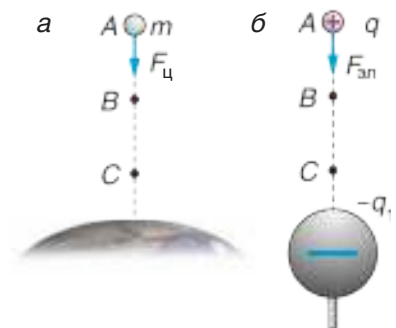
Мал. 118

Параўнаем поле прыцяжэння планеты (Зямлі) (мал. 119, а) і электрычнае поле, якое ствараецца, напрыклад, шарам з адмоўным зарадам $-q_1$ (мал. 119, б).

Абодва палі праяўляюць сябе ў канкрэтных дзеяннях. Поле прыцяжэння Зямлі прымушае падаць любое цела масай m , выпушчанае, напрыклад, у пункце А (гл. мал. 119, а). Электрычнае поле прыводзіць у рух зараджаную часціцу (пратон, дадатны іон) або цела, якое валодае зарадам $+q$, змешчаныя ў пункт А (гл. мал. 119, б).

У абодвух выпадках сілы поля будуць выконваць дадатную работу па разгоне цела (часціцы). У абодвух выпадках значэнне выкананай работы будзе залежаць ад месцазнаходжання пачатковага і канечнага пунктаў: А і В або А і С.

Для разліку работы ў электрычным полі ўводзяць асаблівую велічыню — **электрычнае напружанне**, або проста **напружанне**. Чым большую работу выконваюць сілы электрычнага поля пры пераносе зараду паміж двума пунктамі поля, тым большае на-



Мал. 119

пружанне паміж гэтымі пунктамі. Так, напружанне паміж пунктамі A і B меншае за напружанне паміж пунктамі A і C (гл. мал. 119, б).

Калі электрычнае напружанне абазначыць лацінскай літарай U , то сказанае можна выразіць матэматычна так:

$$U_{AC} > U_{AB} \quad \text{і} \quad U_{AC} = U_{AB} + U_{BC}.$$

Пра фізічны сэнс напружання вы даведаецеся ў наступным параграфі.

Галоўныя вывады

1. Электрычнае поле — асаблівы стан прасторы, ствараемы зараджаным целам (часціцай, якая валодае электрычным зарадам).
2. Матэрыяльнасць электрычнага поля пацвярджаецца яго дзеяннем на ўнесены ў поле зарад.
3. Перамяшчаючы зараджаную часціцу, сілы электрычнага поля выконваюць пэўную работу.
4. Электрычнае напружанне паміж двума выбранымі пунктамі поля абумоўлівае значэнне работы, выкананай сіламі поля.

Кантрольныя пытанні

1. Што з'яўляецца крыніцай электрычнага поля?
2. Чым пацвярджаецца рэальнасць існавання электрычнага поля?
3. У чым падабенства электрычнага поля і поля прыцяжэння?
4. Што характарызуе электрычнае напружанне паміж дадзенымі пунктамі поля?
5. Як разумець выраз $U_{AC} > U_{AB}$? Чаму $U_{AC} = U_{AB} + U_{BC}$?
6. Як зменіцца электрычнае напружанне U_{AB} і U_{AC} (гл. мал. 119, б), калі зарад $-q_1$ павялічыцца? Паменшыцца?

Дамашняе заданне

Зарадзіце выраблены вамі раней электраскоп дадатным зарадам. Павольна падносьце да яго адмоўна зараджанае цела. Назірайце спачатку за памяншэннем вугла разыходжання лісточкаў да нуля, а потым, пры далейшым набліжэнні адмоўна зараджанага цела да электраскопа, — за павелічэннем вугла разыходжання лісточкаў. Растлумачце назіраемую з'яву.

§ 18.

Адзінка электрычнага напружання. Разлік работы ў электрычным полі

Кожны з вас, вядома, бачыў строгае папярэджанне: «Увага! Высокае напружанне! Небяспечна для жыцця!». Узнікаюць пытанні. Па-першае, чаму выкарыстоўваюць слова «высокае»? А па-другое (што самае галоўнае), чаму высокае напружанне небяспечна для жыцця?

Для адказу на гэтыя пытанні пазнаёмімся з адзінкай электрычнага напружання ў СІ. Яна называецца **вольтам (В)** у гонар італьянскага вучонага А. Вольта (гл. форзац 1), што ўпершыню стварыў хімічную крыніцу электрычнага току, якая ў побыце называецца элементам сілкавання або батарэйкай.

1 вольт (1 В) — гэта напружанне паміж двума пунктамі электрычнага поля, пры пераносе паміж якімі зараду 1 Кл выконваецца работа 1 Дж.

Цяпер вы можаце растлумачыць сэнс надпісу «4,5 В» або «9 В» на круглай або плоскай батарэйцы (мал. 120). Сэнс у тым, што пры пераносе з аднаго полюса крыніцы на другі (праз спіраль лямпачкі або іншы праваднік) зараду 1 Кл сіламі электрычнага поля можа быць выканана работа адпаведна 4,5 Дж або 9 Дж.

Такім чынам, напружанне — **характарыстыка працаздольнасці** электрычнага поля на разглядаемым участку. З пункта гледжання матэматыкі можна гаварыць аб **прамой прапарцыянальнай залежнасці** выкананай работы ад напружання. А калі ў разгледжаных выпадках будзе перамяшчацца не адзінкавы зарад у 1 Кл, а зарад, у 2, 3, 5 разоў большы? У столькі ж разоў будзе большай і выкананая работа. Значыць, работа сіл электрычнага поля можа быць знойдзена як здабытак значэнняў перанесенага паміж пунктамі зараду і напружання:

$$A = qU.$$

Вернемся да аналогіі поля прыцяжэння і электрычнага поля (гл. мал. 119). Напружанне ў пэўнай ступені можна параўнаць са змяненнем вышыні, з якой падае (на якую паднімаецца) цела. Чым вышэй паднята цела, тым большую работу пры яго падзенні выканае сіла цяжару. Таму зусім не дзіўна, што часта замест таго, каб гаварыць «маленькае напружанне», гавораць



Мал. 120

«нізкае напружанне», замест «вялікае напружанне» — «высокае напружанне». Напрыклад: «высакавольтная лінія», «нізкавольтная крыніца току», «высокае напружанне небяспечна для жыцця».

Звярніце ўвагу: калі гавораць «вялікае (высокае) напружанне», то гэта не азначае, што ўжо выканана вялікая работа. Гэта ўказанне на тое, што яна *можа быць выканана*. Параўнайце: пры падзенні цела з вялікай вышыні ў залежнасці ад масы цела, якое падае (камень, пясчынка), можа быць выканана як вялікая, так і малая работа. Зусім гэтак жа пры руху зарадаў у электрычным полі выкананая работа залежыць не толькі ад значэння напружання, але і ад значэння перанесенага зараду.



Для дапытлівых

У побыце электрычныя палі з напружаннем у некалькі тысяч вольт нярэдка ўзнікаюць паміж цэлам чалавека і яго сухім адзеннем, паміж рукой чалавека, які гладзіць ката, і яго шэрсцю. Часам электрызацыя суправаджаецца ўзнікненнем іскр і патрэскваннем. Гэта — пераход зарадаў паміж цэламі праз паветра, якое ў вельмі моцных палях становіцца правадніком. Падумайце, чаму ў гэтых выпадках не ўзнікае сур'ёзных пашкоджанняў.



Галоўныя вывады

1. Электрычнае напружанне паміж двума пунктамі электрычнага поля лікава роўна работе, выкананай пры пераносе паміж імі зараду 1 Кл сіламі электрычнага поля.
2. Работа пры пераносе зараду з аднаго пункта электрычнага поля ў другі прама прапарцыянальна значэнням напружання паміж пунктамі поля і зараду, які пераносіцца.
3. Адзінка электрычнага напружання ў СІ — 1 В — напружанне паміж двума пунктамі поля, пры пераносе паміж якімі зараду 1 Кл выконваецца работа 1 Дж.



Кантрольныя пытанні

1. Што характарызуе напружанне паміж дадзенымі пунктамі электрычнага поля?
2. Што азначае выраз: «Напружанне на лампе роўна 12 В»?
3. Ці можа выконвацца: а) маленькая работа пры вялікім напружанні; б) вялікая работа пры маленькім напружанні?
4. Чаму вялікае напружанне часта называюць высокім?



Прыклад рашэння задачы

У паскаральніку разганяюць электроны, выкарыстоўваючы напружанне $U = 20$ кВ. Якая работа выконваецца пры разгоне аднаго квадрыльёна ($N = 1,0 \cdot 10^{15}$) электронаў?

Дадзена:

$$U = 20 \text{ кВ} = 2,0 \cdot 10^4 \text{ В}$$

$$N = 1,0 \cdot 10^{15}$$

A — ?

Рашэнне

Поўны зарад q усіх электронаў знойдзем праз элементарны зарад: $q = eN$. Выкананая работа:

$$A = qU = eNU =$$

$$= 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 1,0 \cdot 10^{15} \cdot 2,0 \cdot 10^4 \text{ В} =$$

$$= 3,2 \text{ Дж.}$$

Адказ: $A = 3,2$ Дж.

Практыкаванне 13

1. Чаму пры ўказанні значэння элементарнага зараду $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл не пазначаюць яго знак («+» або «-»)?

2. Ці аднолькавая маса нейтральнага атама рэчыва і іона гэтага ж рэчыва?

3. Ці змяняецца маса лінейкі пры: а) электрызацыі яе трэннем; б) электрызацыі праз уплыў?

4. Што пацвярджае існаванне электрычнага поля вакол зараджаных цел A і B (мал. 121)?

5. Якую работу выконваюць электрычныя сілы, перамяшчаючы зарад $q = 2$ нКл паміж пунктамі, напружанне паміж якімі $U = 4$ В?

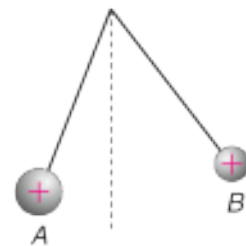
6. У электронным гадзінніку за суткі перамяшчаецца зарад $q = 17$ мКл. Якое значэнне напружання, калі работа электрычных сіл $A = 0,26$ Дж?

7. У электрапрыборы пры напружанні $U = 220$ В за адну хвіліну перамяшчаецца зарад $q = 0,16$ кКл. Якое значэнне магнутнасці электрапрыбора?



8. Пры дапамозе якога напружання можна разгнаць нерухомы электрон да першай касмічнай скорасці $v = 7,9 \frac{\text{км}}{\text{с}}$? Маса электрона $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг.

9. Ці зменіцца напружанне паміж двума пунктамі электрычнага поля і выкананая па перамяшчэнні зараду работа, калі зарад павялічыць у 4 разы?

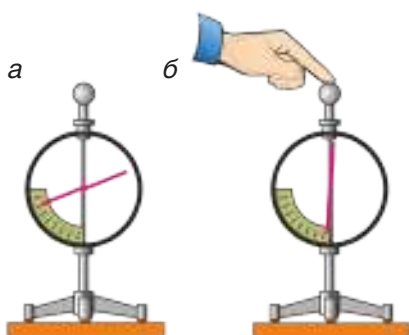


Мал. 121

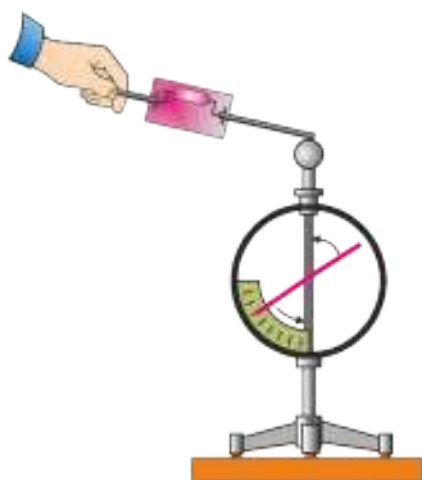


§ 19.

Электрычны ток. Крыніцы току



Мал. 122



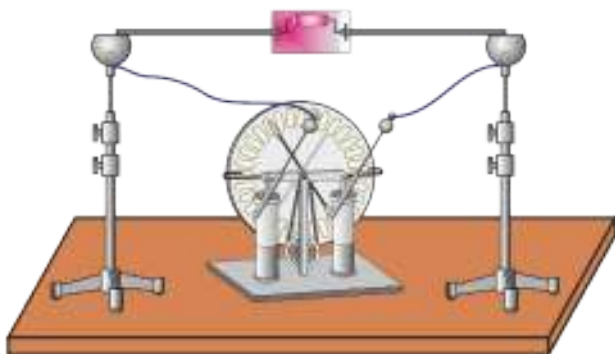
Мал. 123

Электрычнае поле, дзейнічаючы на зараджаныя часціцы, што хаатычна рухаюцца ў асяроддзі, можа ствараць іх **накіраваны рух** — электрычны ток. Высветлім, што патрэбна для таго, каб узнік і доўгі час праходзіў ток.

Па-першае, у асяроддзі павінны быць свабодныя зараджаныя часціцы: электроны, іоны, г. зн. асяроддзе павінна быць прадзіячым. Па-другое, у гэтым асяроддзі павінна быць электрычнае поле, якое прымушае рухацца часціцы ў адным напрамку. Інакш кажучы, трэба стварыць пэўнае электрычнае напружанне.

Правядзём дослед. Наэлектрызуем шар, умацаваны на электрометры (мал. 122, а). Дакранёмся да шара пальцам (мал. 122, б). Зарад сыходзіць з шара праз наша цела ў зямлю. Праз нас праходзіць ток, хоць мы гэтага не адчуваем.

А зараз дакранёмся да зараджанага шара металічным прадніком са спецыяльнай неонавай лямпачкай (мал. 123). Свячэнне лямпачкі можа адбывацца пры праходжанні праз яе нават вельмі малога электрычнага зараду. У цэнтры добра бачна кароткачасовая ўспышка лямпачкі, значыць, праз лямпачку прайшоў кароткачасовы ток.



Мал. 124



Мал. 125

Каб электрычны ток не спыняўся, трэба падтрымліваць напружанне, для чаго служаць крыніцы току, або генератары. Самай «старажытнай» крыніцай току можна лічыць электрафорную машыну (мал. 124), у якой дзякуючы раздзяленню зарадаў ствараецца неабходнае напружанне. Неонавая лампачка будзе гарэць да таго часу, пакуль верцяцца дыскі.

Аналагічнае раздзяленне дадатных і адмоўных зарадаў адбываецца ў любой іншай крыніцы: гальванічным элеменце (батарэйцы) (гл. мал. 120), механічным генератары з пастаянным магнітам (мал. 125), сонечнай батарэі калькулятара (мал. 126).

Крыніцы току могуць мець розныя прынцыпы работы, памеры і знешні выгляд. Параўнайце адну з самых першых створаных крыніц току — тэрмапару (мал. 127) і генератар электрастанцыі (мал. 128). Першая складаецца ўсяго з двух дротікаў з розных металаў, якія награвваюцца любым награвальнікам, другі — вельмі складанае многатоннае ўстройства. Але ва ўсіх без выключэння крыніцах напружанне, а значыць, і **электрычная энергія** не ўзнікаюць з нічога. Электрычная энергія ствараецца за кошт якога-небудзь іншага віду энергіі. У тэрмапары — за кошт унутранай энергіі, у генератары электрастанцыі — за кошт энергіі струменя пары або вады.

Адзначым асобна яшчэ адну вельмі важную крыніцу току — акумулятар (мал. 129). У ім, як



Мал. 126



Мал. 127



Мал. 128



Мал. 129



Мал. 130



Мал. 131

і ў звычайнай батарэйцы, выкарыстоўваецца энергія хімічных рэакцый. Але ў адрозненне ад большасці батарэек, якія праз некаторы час прыходзяць у непрыгоднасць, акумулятары можна шматразова зараджаць, вяртаючы ім іх першапачатковыя ўласцівасці. Акумулятары незаменныя ў аўтамабілі, мабільным тэлефоне, ноўтбуку (мал. 130). Без іх немагчыма работа касмічных станцый. У нашай рэспубліцы ўжо вырабляюцца электрамабілі, электробусы (мал. 131), у якіх акумулятар служыць не толькі для запуску рухавіка, але і для язды на значныя адлегласці.



Галоўныя вывады

1. Электрычны ток — накіраваны рух зараджаных часціц.
2. Для стварэння і падтрымання току ў ланцугу неабходны крыніцы току.
3. У любой крыніцы току адбываецца ператварэнне якога-небудзь віду энергіі ў электрычную энергію.



Кантрольныя пытанні

1. Што называюць электрычным токам?
2. Якія ўмовы ўзнікнення і працяглага існавання току?
3. Ці магчымы электрычны ток без крыніцы? Патлумачце прыкладамі.
4. Што такое крыніца току?
5. Якія ператварэнні энергіі адбываюцца ва ўсіх крыніцах току, разгледжаных у параграфе?
6. Што агульнае і рознае ў звычайнай батарэйкі і акумулятара?
7. У аўтамабілі ёсць дзве крыніцы току: акумулятар і генератар, які дае напружанне толькі пры працуючым рухавіку. Якое прызначэнне абедзвюх крыніц?



§ 20.

Сіла і напрамак электрычнага току

Параўнаем цячэнне вады (вадзяны ток) у вузкім ручайку і ў глыбокай суднаходнай рацэ (мал. 132). Прычына цячэння вады аднолькавая — рознасць вышынь узроўняў вады ў вусці і вытоку. А вось колькасць вады, якая працякае праз папярочнае сячэнне ручая і ракі за аднолькавы прамежак часу, розная. Аналагічна гэтаму значэнні зарадаў, якія прайшлі за адзінку часу праз папярочнае сячэнне спіраляў лампаў, напрыклад, ліхтарыка і пражэктара, моцна адрозніваюцца. Таму гавораць аб рознай сіле току ў правадніках.



Мал. 132

За сілу электрычнага току прымаюць фізічную велічыню, лікава роўную зараду, які прайшоў праз папярочнае сячэнне правадніка за адзінку часу.

Абазначаецца сіла току літарай I .

З азначэння вынікае, што, ведаючы зарад q , які прайшоў за прамежак часу t , мы можам знайсці сілу току I па формуле

$$I = \frac{q}{t}.$$



Мал. 133

Адзінка сілы току ў СІ **1 ампер (А)**. Яна не выводзіцца праз формулы, а выбрана *па дамоўленасці*. Заўважым, што 1 А — гэта значная сіла току. У энергазберагальных лампах, якія асвятляюць нашы кватэры, сіла току роўна 0,04—0,08 А. Аднак пры запуску рухавіка аўтамабіля спецыяльны электраматор (стартар) (мал. 133) спажывае ток сілай 200—300 А. Наадварот, у такіх прыборах, як калькулятар або электронны гадзіннік, сіла току амаль у мільярд разоў меншая за 1 А, таму сілу току часта выражаюць у міліамперах (мА), мікраамперах (мкА):

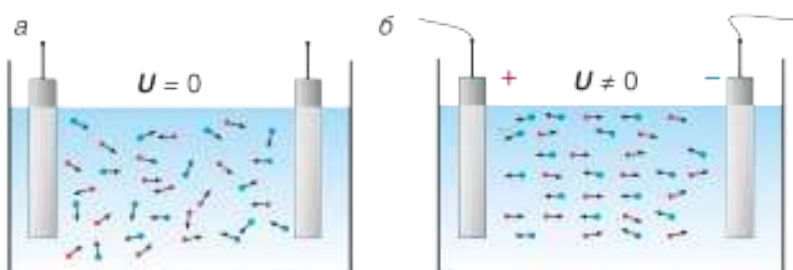
$$1 \text{ мА} = 0,001 \text{ А} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ А}; \quad 1 \text{ мкА} = 0,000001 \text{ А} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ А}.$$

Ведаючы адзінку сілы току, мы можам даць строгае азначэнне адзінцы электрычнага зараду. Падставіўшы адзінкі сілы току і часу ў формулу $q = It$, атрымаем $1 \text{ Кл} = 1 \text{ А} \cdot 1 \text{ с}$.

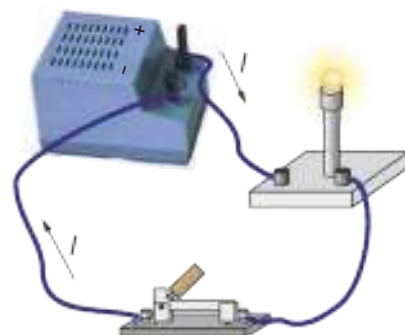
Адзін кулон — гэта зарад, які прайшоў праз папярочнае сячэнне правадніка з токам сілай 1 А за 1 с.

Які напрамак электрычнага току? У металах ток — гэта рух электронаў, але ў газах і растворах — гэта рух дадатных і адмоўных іонаў у **процілеглых напрамках** (мал. 134, а, б). Дамовіліся лічыць, што ток у правадніку накіраваны так, як рухаюцца ў ім (або рухаліся б) **дадатна** зараджаныя часціцы. Значыць, ток у ланцугу праходзіць ад дадатнага полюса «+» крыніцы да адмоўнага «-» (мал. 135).

Пасля адкрыцця электрона, які ў большасці выпадкаў з'яўляецца носьбітам току, стала зразумела, што выбар быў зроблены няўдала, але старую дамоўленасць змяняць не сталі.



Мал. 134



Мал. 135

Галоўныя вывады

1. Сіла электрычнага току — фізічная велічыня, лікава роўная зараду, які прайшоў праз папярочнае сячэнне правадніка за адзінку часу.
2. Асноўнай адзінкай сілы электрычнага току ў СІ з'яўляецца 1 А.
3. Адзінка электрычнага зараду 1 Кл — гэта зарад, які прайшоў праз папярочнае сячэнне правадніка з токам сілай 1 А за 1 с.
4. За напрамак электрычнага току выбраны напрамак руху дадатна зараджаных часціц.

? Кантрольныя пытанні

1. Што характарызуе сіла электрычнага току?
2. Што прынята ў СІ за адзінку сілы току?
3. У якіх адзінках у СІ вымяраецца электрычны зарад?
4. Што прынята за напрамак электрычнага току?
5. Ці супадае напрамак электрычнага току з напрамкам руху зараджаных часціц?



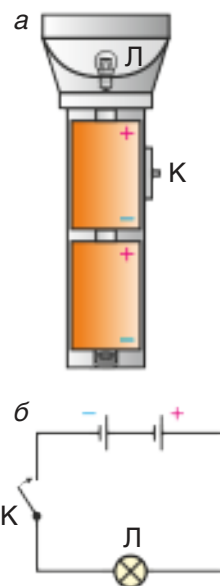
§ 21.

Электрычны ланцуг. Вымярэнне сілы току і напружання

Слова «ланцуг» абазначае нешта не суцэльнае, а складзенае з асобных звёнаў. З якіх звёнаў складаецца электрычны ланцуг?

Электрычны ланцуг змяшчае, па-першае, **крыніцу току**, якая стварае неабходнае напружанне, па-другое, **нагрузку (спажываўца)**, г. зн. тое ўстройства, у якім трэба стварыць ток. Нагрузкай можа быць награвальнік або лампа, электрарухавік або званок, зараджаемы акумулятар. Звёнамі ланцуга таксама з’яўляюцца **злучальныя правады і ключ**, які служыць для замыкання і размыкання ланцуга, вымяральныя прыборы.

На малюнку 136, *а* вы бачыце найпрасцейшы ланцуг — ланцуг электрычнага ліхтарыка, а на малюнку 136, *б* — яго ўмоўны відарыс (схему электрычнага ланцуга). Умоўныя (схематычныя) відарысы розных звёнаў ланцуга дадзены ў табліцы 5.



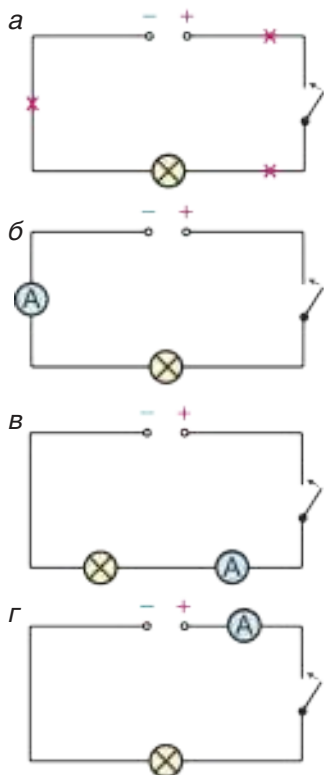
Мал. 136

Табліца 5. Умоўныя абазначэнні звёнаў электрычнага ланцуга

Элемент	Абазначэнне	Элемент	Абазначэнне
Крыніца пастаяннага току		Рэзістар	
Злучэнне правадоў		Рэастант	
Клемы падключэння крыніцы току		Плаўкі засцерагальнік	
Выключальнік (ключ)		Мініяцюрная лампа напальвання	
Лампа неонавая		Святлодыёд	
Амперметр		Вальтметр	
Электрычны званок		Электрычны рухавік	



Мал. 137



Мал. 138



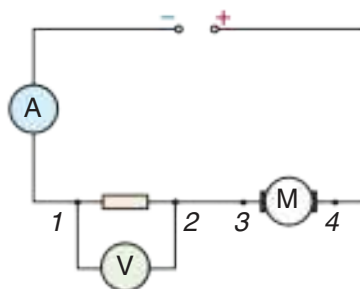
Мал. 139

Сілу току ў ланцугу вымяраюць з дапамогай спецыяльнага прыбора — **амперметра** (мал. 137). Для вымярэння сілы току ў найпрасцейшым ланцугу мы павінны абавязкова разарваць ланцуг у любым месцы (мал. 138, *а*) і ў гэты разрыў падключыць прыбор (мал. 138, *б*, *в*, *г*). Такое падключэнне называюць **паслядоўным**.

Ва ўсіх выпадках паказанні амперметра будуць аднолькавыя — бо праз любое сячэнне ланцуга (уключаючы крыніцу) праходзіць адзін і той жа электрычны зарад.

Для кожнага амперметра існуе верхняя мяжа вымярэння (гранічная сіла току). Так, для паказанага на малюнку 137 прыбора яна роўна $I_{\max} = 1,5 \text{ A}$. Уключэнне прыбора ў ланцуг з большай сілай току недапушчальнае. Пры ўключэнні прыбора неабходна **прытрымлівацца палярнасці**, г. зн. клему прыбора, абазначаную знакам «+», трэба падключаць толькі да проваду, які ідзе ад клеммы са знакам «+» крыніцы.

Электрычнае напружанне абумоўлівае работу сіл электрычнага поля па пераносе зараду **паміж двума пунктамі поля**. Таму прыбор, які вымярае напружанне, — **вольтметр** (мал. 139) падключаюць не так, як амперметр пры вымярэнні сілы току. Яго падключаюць, не разрываючы ланцуг, да даследуемага зв'язна. Так, вольтметр, падключаны да пунктаў 1 і 2 (мал. 140), вымярае напружанне на рэзістары, а да пунктаў 3 і 4 (гл. мал. 140), — на электрарухавіку. Такое падключэнне вольтметра называюць **паралельным**.



Мал. 140

Як і ў выпадку з амперметрам, пры падключэнні вальтметра ўлічваець палярнасць.

Пры вымярэнні электрычнай велічыні важна разумець, што дабаўленне прыбора ў ланцуг можа змяніць яе, што вельмі непажадана. Напрыклад, сіла току ў рэзістары пры падключэнні ў ланцуг амперметра (гл. мал. 138, б, в, г) будзе не такой, якой яна была раней (гл. мал. 138, а). Змяненні адбываюцца і пры падключэнні вальтметра.

■ Галоўныя вывады

1. Абавязковымі звёнамі ланцуга з'яўляюцца крыніца току, нагрузка, ключ і злучальныя правады.
2. Усякі электрычны ланцуг можа быць паказаны ў выглядзе схемы.
3. Амперметр падключаецца ў разрыў ланцуга (паслядоўна).
4. Вальтметр вымярае напружанне паміж двума пунктамі ланцуга і падключаецца да іх без разрыву ланцуга (паралельна).
5. Пры ўключэнні амперметра і вальтметра неабходна прытрымлівацца палярнасці і ўлічваць верхнюю мяжу шкал прыбораў.

? Кантрольныя пытанні

1. Якія звёны павінен мець любы электрычны ланцуг?
2. Што называецца схемай электрычнага ланцуга?
3. Для чаго служыць і як уключаецца ў ланцуг: а) амперметр; б) вальтметр?
4. Якія ўмовы неабходна выконваць пры выкарыстанні вымяральных прыбораў?
5. Якое напружанне будзе вымяраць вальтметр, калі яго ўключыць паміж пунктамі 1 і 4 (гл. мал. 140)?

Практыкаванне 14

1. Вызначыце цану дзялення дэманстрацыйных амперметра і вальтметра (гл. мал. 137, 139).

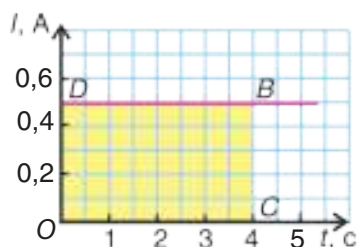
2. Ці аднолькавы фізічны сэнс маюць сцверджанні: а) «У правадніку прайшоў вялікі зарад»; б) «У правадніку прайшоў ток вялікай сілы»?

3. Які электрычны зарад пройдзе за час $t = 2,0$ мін бесперапыннай работы зварачнага апарата пры сіле току $I = 75$ А? Колькі электронаў пройдзе праз сячэнне правадніка за гэты час?

4. Якая сіла току ў правадніку, праз папярочнае сячэнне якога праходзіць $N = 1,0 \cdot 10^{18}$ электронаў за час $t = 1,0$ с?



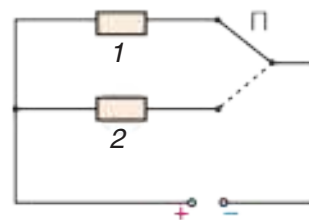
Мал. 141



Мал. 142



Мал. 143



Мал. 144

5. Па графіку залежнасці перанесенага зараду ад часу (мал. 141) знайдзіце сілу току ў правадніку.

6. На малюнку 142 паказаны графік залежнасці сілы току ад часу. Якую фізічную велічыню можна вылічыць, знайшоўшы плошчу прававугольнага $ODBC$? Знайдзіце зарад, які прайшоў праз папярочнае сячэнне правадніка за час $t = 3,0$ с.

7. Ёсць тры прыборы са значэннямі верхніх меж вымярэння сілы току $I_{\max} = 500$ мА, $I_{\max} = 2$ А, $I_{\max} = 50$ А. Які з іх вы выберыце для вымярэння сілы току ў святлодыёднай лямпе, паказанай на малюнку 143? Чаму?

8. Ці можна пры дапамозе амперметра знайсці велічыню зараду, які праходзіць праз рэзістар за вызначаны час? Як?

9. Вызначыце паказанні амперметра (гл. мал. 138, б), калі за час $t = 1,0$ мін праз сячэнне спіралі лямпы праходзіць зарад $q = 12$ Кл.

10. Ці можна сцвярджаць, што да і пасля падключэння амперметра (гл. мал. 138, а, б) у ланцугу праходзіў ток аднолькавай сілы?

11. У ланцугу, паказаным на малюнку 144, выкарыстаны ўскладнены ключ-пераключальнік П. Растлумачце работу такога ланцуга. Дапоўніце схему амперметрамі, якія дазваляць вымераць сілу току ў кожным рэзістары.



§ 22.

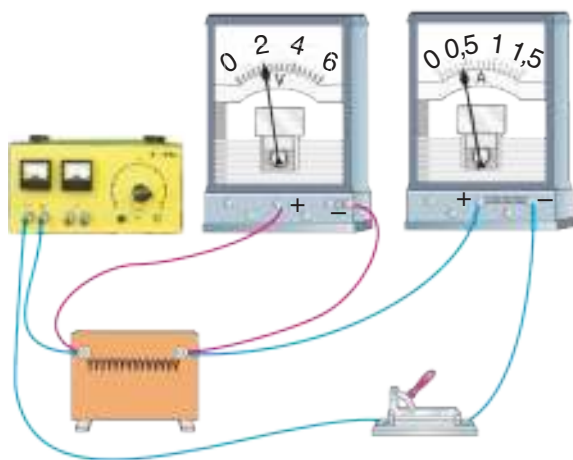
Сувязь сілы току і напружання. Закон Ома для ўчастка электрычнага ланцуга

Ад чаго залежыць сіла току, які праходзіць у правадніку? Чаму сіла току ў зварачным апарате ў дзясяткі мільёнаў разоў большая, чым у электронным гадзінніку?

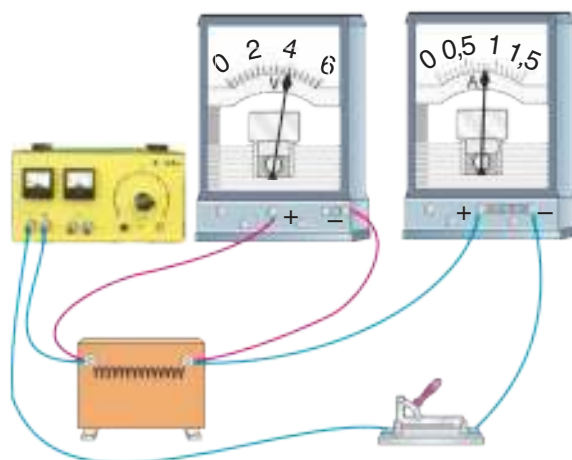
Для адказу на гэтыя пытанні правядзём шэраг нескладаных даследаў. Падключым невялікі кавалачак спіралі да крыніцы току, выходнае напружанне паміж клемамі якой можна рэгуляваць. З дапамогай паслядоўна ўключанага амперметра і паралельна спіралі ўключанага вальтметра (мал. 145) будзем вымяраць сілу току і напружанне на спіралі. Устаноўім напружанне на спіралі $U_1 = 2$ В.

Замкнём ключ і вымераем сілу току. Яна аказалася $I_1 = 0,4$ А (гл. мал. 145). Павялічым напружанне на спіралі ў 2 разы (мал. 146), г. зн. $U_2 = 4$ В, затым у 3 разы, г. зн. $U_3 = 6$ В. Паказанні амперметра таксама павялічацца: $I_2 = 0,8$ А (гл. мал. 146), $I_3 = 1,2$ А. Дослед можна працягваць далей. Але ўжо з гэтых даных вынікае, што **сіла току ў правадніку прама прапарцыянальна напружанню на правадніку**.

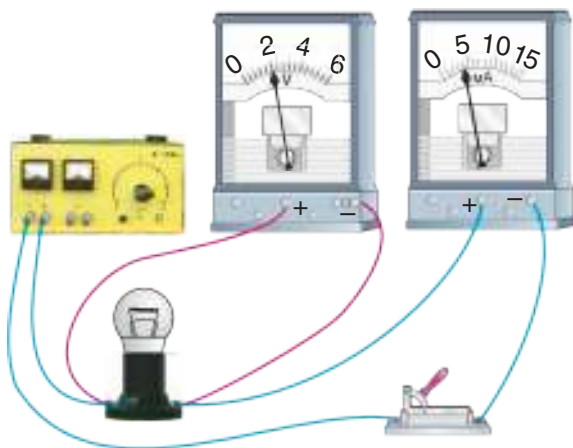
Падключым цяпер да крыніцы току іншую спіраль, напрыклад спіраль асвятляльнай лампы. Мы бачым, што пры напружанні $U = 2$ В сіла току ў спіралі лампы $I = 4$ мА (мал. 147), што ў сто разоў менш, чым у папярэдняй спіралі. Значыць, спіраль лампы аказвае



Мал. 145



Мал. 146



Мал. 147

ў 100 разоў большае процідзеянне накіраванаму руху зараджаных часціц, або валодае ў 100 разоў большым супраціўленнем (гл. мал. 147).

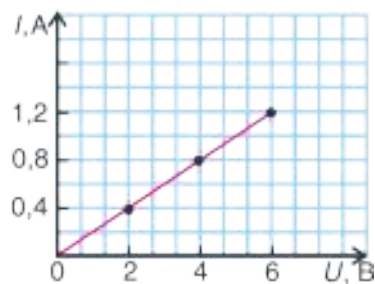
Гэту новую велічыню — **супраціўленне** — мы будзем прыпісваць усякаму правадніку і абазначаць літарай R (па першай літары лацінскага слова *resisto* — супраціўляюся). Тады можна сцвярджаць: **чым большае супраціўленне правадніка, тым меншая сіла току ў ім** (адваротна прапарцыянальная залежнасць).

Такім чынам, з доследаў вынікае: **сіла току ў правадніку (участку ланцуга) прама прапарцыянальна прыкладзенаму напружанню і адваротна прапарцыянальна супраціўленню правадніка (участка ланцуга).**

Дадзенае сцверджанне называецца законам Ома для ўчастка ланцуга ў гонар нямецкага вучонага Г. С. Ома (гл. форзац 1), які ўсталяваў закон у 1826 г. Матэматычна закон Ома можна запісаць так:

$$I = \frac{U}{R}.$$

Закон Ома можна прадставіць графічна. На малюнку 148 паказаны такі графік для спіралі, выкарыстанай у першым доследзе. Графік пацвярджае прамую прапарцыянальную залежнасць сілы току ў правадніку ад прыкладзенага да яго напружання. Графік залежнасці сілы току ад напружання называецца *вольт-ампернай характарыстыкай* правадніка. Праваднікі, якія маюць значнае супраціўленне, прынята называць *рэзістарамі*.



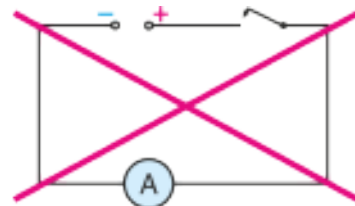
Мал. 148

У злучальных правадах процідзеянне руху электронаў, як правіла, нязначнае, што дазваляе **не ўлічваць супраціўленне злучальных правадоў пры рашэнні большасці задач.**

Пэўным супраціўленнем валодаюць і вымяральныя прыборы. Пры ўключэнні паслядоўна ў ланцуг амперметра яго супраціўленне дадаецца да поўнага супраціўлення ланцуга. Гэта выклікае непажадае памяншэнне сілы току. Каб гэта не адбывалася, супраціўленне

амперметра павінна быць малым. Ідэальным быў бы амперметр без супраціўлення ($R = 0$). Наадварот, дабаўленне вальтметра паралельна некатораму прыбору (рэзістару на малюнку 140) стварае току яшчэ адзін «абыходны» шлях, што таксама рэзка змяняе параметры ланцуга. Каб пазбегнуць гэтых непажаданых вынікаў, трэба выкарыстоўваць вальтметры з максімальна вялікім супраціўленнем.

І яшчэ аб вельмі важным. Пры занадта малым супраціўленні ланцуга сіла току ў ім можа прыняць недапушчальна вялікае значэнне. Пры замыканні ланцуга, паказанага на малюнку 149, ток у ім пойдзе, фактычна не зведваючы супраціўлення. Гэта — **кароткае замыканне** ланцуга. У такім рэжыме могуць быць сапсаваны і прыбор, і крыніца току, а перагрэў правадоў можа прывесці да пажару.



Мал. 149

Галоўныя вывады

1. Сіла току ў правадніку прама прапарцыянальна прыкладзенаму напружанню і адваротна прапарцыянальна супраціўленню правадніка.
2. Чым меншае супраціўленне амперметра і чым большае супраціўленне вальтметра, тым меншыя змяненні яны выклікаюць пры падключэнні ў ланцуг.
3. Вольт-амперная характарыстыка правадніка ўяўляе сабой графік залежнасці сілы току ад напружання.
4. Выкарыстанне ланцугоў без нагрузкі прыводзіць да недапушчальна небяспечнага росту сілы току (кароткага замыкання).

? Кантрольныя пытанні

1. Сувязь паміж якімі фізічнымі велічынямі адлюстроўвае закон Ома для ўчастка ланцуга?
2. Як разумець выраз: «Сіла току ў правадніку прама прапарцыянальна прыкладзенаму напружанню»?
3. Як разумець выразы: «Праваднік мае супраціўленне, якое можна не ўлічваць», «Праваднік мае вельмі вялікае супраціўленне»?
4. Ці можа ў правадніку праходзіць ток: а) вельмі вялікай сілы пры малым напружанні; б) малой сілы пры вялікім напружанні?
5. Што такое кароткае замыканне ланцуга?
6. Чым небяспечнае кароткае замыканне ланцуга?



§ 23.

Адзінка супраціўлення. Разлік супраціўлення

Мы ўвялі новую характарыстыку — супраціўленне. Але чаму праваднік «супраціўляецца» накіраванаму руху зараджаных часціц? У якіх адзінках вымяраецца супраціўленне правадніка? Ці можна яго вылічыць?

Прычынай таго, што сіла току ў правадніку не можа мець любое, неабмежавана вялікае, значэнне, з'яўляецца бесперапыннае сутыкненне носьбітаў зараду (электронаў, іонаў) з часціцамі правадніка, якія знаходзяцца ў вузлах крышталічнай рашоткі правадніка. Гэта прыводзіць да зніжэння скорасці накіраванага руху носьбітаў зараду, памяншае зарад, які пераносіцца, а значыць, памяншае і сілу току. Менавіта гэтыя сутыкненні і выклікаюць награванне правадніка. Так электрычны ток праяўляе цеплавое дзеянне.

Выразіўшы супраціўленне з закону Ома $R = \frac{U}{I}$, увядзём адзінку супраціўлення — 1 Ом (у гонар Г. Ома):

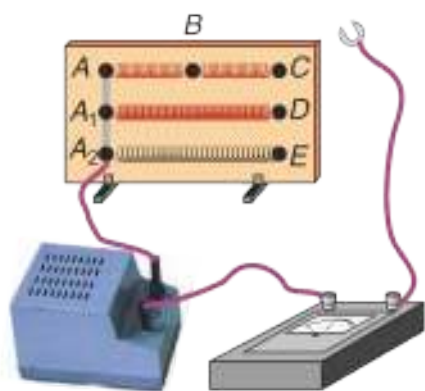
$$1 \text{ Ом} = \frac{1 \text{ В}}{1 \text{ А}}.$$

1 Ом — гэта супраціўленне правадніка, у якім пры напружанні 1 В праходзіць ток сілай 1 А.

1 Ом — невялікае супраціўленне. У шэрагу спажывцоў яно складае сотні омаў, таму супраціўленне часта выражаюць у кілаомах (кОм) і мегаомах (МОм):

$$1 \text{ кОм} = 1000 \text{ Ом} = 1 \cdot 10^3 \text{ Ом};$$

$$1 \text{ МОм} = 1\,000\,000 \text{ Ом} = 1 \cdot 10^6 \text{ Ом}.$$



Мал. 150

Вызначыць супраціўленне правадніка можна, вымераўшы напружанне U на ім і сілу току I ў ім, па формуле $R = \frac{U}{I}$. Але існуе і спецыяльны прыбор для вымярэння супраціўлення — **омметр**. З найпрасцейшым омметрам вы пазнаёміцеся ў практыкаванні да гэтага параграфа.

Атрымаем формулу для разліку супраціўлення. Для гэтага выкарыстаем ланцуг з крыніцы току, амперметра і панэлі з праваднікамі, якія даследуюцца (мал. 150). На панэлі замацаваны тры праваднікі з ніхрому і адзін з жалеза.

Праваднік AC з ніхромау мае адвод ад сярэдзіны (клема B , гл. мал. 150), два іншыя ніхромавыя праваднікі складзены разам і ўключаны паміж пунктамі A_1 і D (гл. мал. 150). Усе чатыры праваднікі маюць роўныя даўжыню і плошчу папярочнага сячэння. Уключаючы ў ланцуг спачатку цэлы праваднік AC (ланцуг замыкаецца ў пункце C), а затым палову гэтага правадніка (кантакт пераносіцца ў пункт B), бачым, што сіла току павялічваецца ўдвая. Значыць, супраціўленне памяншаецца ў 2 разы. Інакш кажучы, **супраціўленне правадніка прама прапарцыянальна яго даўжыні.**

Падключым у ланцуг па чарзе адзін праваднік AC , а затым два складзеныя разам праваднікі A_1D , якія можна разглядаць як адзін, але з падвоеным папярочным сячэннем. Сіла току ў адным правадніку AC у 2 разы меншая, чым у складзеных правадніках A_1D . Такім чынам, **супраціўленне правадніка адваротна прапарцыянальна плошчы яго папярочнага сячэння.**

Параўнаем цяпер сілы току ў правадніках аднолькавых памераў, але вырабленых з розных рэчываў: з ніхромау (AC) і з жалеза (A_2E). Аказваецца, сіла току ў жалезным правадніку прыкладна ў 10 разоў большая, а супраціўленне ў 10 разоў меншае, чым у ніхромавым. Значыць, **супраціўленне правадніка залежыць яшчэ і ад роду рэчыва, з якога выраблены праваднік.**

З рэзультатаў доследаў вынікае формула для разліку супраціўлення правадніка:

$$R = \rho \frac{l}{S}.$$

Каэфіцыент ρ называюць **удзельным супраціўленнем рэчыва**. Гэта характарыстыка не пэўнага разглядаемага правадніка, а рэчыва, з якога ён выраблены. У СІ ўдзельнае супраціўленне $\rho = \frac{RS}{l}$ вымяраюць у Ом $\cdot$ м. Паколькі на практыцы даўжыню праваднікоў вымяраюць звычайна ў метрах, а плошчу папярочнага сячэння ў квадратных міліметрах, то ўдзельнае супраціўленне зручна запісваць у $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$.

Значэнні ўдзельнага супраціўлення для розных рэчываў дадзены ў табліцы 6. Сэнс пазначаных у табліцы ўдзельных супраціўленняў просты. Калі для ніхромау значэнне $\rho = 1,1 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$, то гэта азначае, што ніхромавы праваднік даўжынёй 1 м і папярочным сячэннем 1 мм² мае супраціўленне 1,1 Ом.

Табліца 6. Удзельнае электрычнае супраціўленне некаторых рэчываў (пры $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Рэчыва	$\rho, \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$	Рэчыва	$\rho, \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$
Серабро	0,016	Манганін (сплаў)	0,43
Медзь	0,017	Канстантан (сплаў)	0,50
Золата	0,024	Ртуць	0,96
Алюміній	0,028	Ніхром (сплаў)	1,1
Вальфрам	0,055	Фехраль (сплаў)	1,3
Жалеза	0,10	Графіт	13
Свінец	0,21	Фарфор	$1 \cdot 10^{19}$
Нікелін (сплаў)	0,40	Эбаніт	$1 \cdot 10^{20}$

Звярніце ўвагу на малыя значэнні ўдзельнага супраціўлення металаў, якія прымяняюцца для электраправодкі: алюмінію і медзі.



Для дапытлівых

Сенсацыяй пачатку XX ст. было адкрыццё звышправоднасці. Пры вельмі моцным ахаладжэнні (прыкладна да $-270\text{ }^{\circ}\text{C}$) супраціўленне некаторых металаў зніжалася да нуля. Звышправодзячыя металы не награвваюцца нават пры вялікай сіле току ў іх. У цяперашні час знойдзены рэчывы, звышправоднасць якіх дасягаецца пры значна меншым ахаладжэнні. На тлумачэнне звышправоднасці вучоным спатрэбілася некалькі дзясяткаў гадоў!



Галоўныя вывады

1. Электрычнае супраціўленне характарызуе ўласцівасць правадніка аказваць процідзеянне накіраванаму руху зараджаных часціц.
2. Прычынай узнікнення супраціўлення з'яўляюцца бесперапынныя сутыкненні зараджаных часціц з часціцамі рэчыва правадніка.
3. Супраціўленне правадніка залежыць ад роду рэчыва і геаметрычных памераў правадніка (даўжыні, плошчы папярочнага сячэння).
4. Адзінкай супраціўлення ў СІ з'яўляецца 1 Ом.



Кантрольныя пытанні

1. Што абмяжоўвае значэнне сілы току ў правадніку?
2. Што прынята ў СІ за адзінку супраціўлення?
3. Як залежыць супраціўленне правадніка ад яго геаметрычных памераў?
4. Што паказвае ўдзельнае супраціўленне рэчыва?
5. Як разумець сцверджанне: «Удзельнае супраціўленне свінцу складае $\rho = 0,21 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$ »?
6. Як правільна чытаць формулу $R = \frac{U}{I}$: «Супраціўленне правадніка прама прапарцыянальна напружанню і адваротна прапарцыянальна сіле току» або «Супраціўленне правадніка роўна адносіне напружання да сілы току»?



Прыклады рашэння задач

1. Выразіце ў асноўных адзінках СІ ўдзельнае супраціўленне свінцу $\rho = 0,21 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$.

Рашэнне. Зададзенае значэнне $\rho = 0,21 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$ паказвае, што свінцовы праваднік даўжынёй $l = 1,0 \text{ м}$ і плошчай папярочнага сячэння $S = 1,0 \text{ мм}^2$ мае супраціўленне $R = \rho = 0,21 \text{ Ом}$. Выразім гэта значэнне ў асноўных адзінках СІ:

$$\begin{aligned} \rho &= 0,21 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}} = \\ &= 0,21 \frac{\text{Ом} \cdot 0,000001 \text{ м}^2}{\text{м}} = 2,1 \cdot 10^{-7} \text{ Ом} \cdot \text{м}. \end{aligned}$$

Значэнне $\rho = 2,1 \cdot 10^{-7} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ азначае, што праваднік даўжынёй $l = 1,0 \text{ м}$ і плошчай папярочнага сячэння $S = 1,0 \text{ мм}^2$ мае супраціўленне $R = \rho = 0,21 \text{ мкОм}$.

Адказ заканамерны: праваднік, сячэнне якога $S = 1,0 \text{ мм}^2$ у мільён разоў большае за сячэнне $S = 1,0 \text{ мм}^2$, павінен мець у мільён разоў меншае супраціўленне.

2. Пры падключэнні да крыніцы з напружаннем $U = 4,5 \text{ В}$ нікелінавага правадніка папярочным сячэннем $S = 0,20 \text{ мм}^2$ па ім прайшоў ток сілай $I = 300 \text{ мА}$. Якая даўжыня правадніка?

Дадзена:

$$U = 4,5 \text{ В}$$

$$S = 0,20 \text{ мм}^2$$

$$\rho = 0,40 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$$

$$I = 300 \text{ мА} = 0,30 \text{ А}$$

 $l = ?$

Рашэнне

Выразім супраціўленне правадніка двума
спосабамі: па формуле $R = \rho \frac{l}{S}$ і праз закон
Ома $R = \frac{U}{I}$.

Прыраўнуем правыя часткі абедзвюх
формул:

$$\frac{\rho l}{S} = \frac{U}{I}$$

$$\text{Адсюль } l = \frac{U \cdot S}{\rho \cdot I}$$

Паколькі сячэнне правадніка зададзена ў мм^2 , то выражаць
удзельнае супраціўленне ў асноўных адзінках СІ не будзем:

$$l = \frac{4,5 \text{ В} \cdot 0,20 \text{ мм}^2}{0,40 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}} \cdot 0,30 \text{ А}} = 7,5 \text{ м.}$$

Адказ: $l = 7,5 \text{ м.}$

Практыкаванне 15

1. Провад супраціўленнем $R_0 = 16 \text{ Ом}$ разрэзалі на дзве роўныя часткі. Параўнайце супраціўленні і ўдзельныя супраціўленні новых праваднікоў і зыходнага. Якім будзе супраціўленне двухжылнага правадніка, атрыманага з дзвюх палавін зыходнага проваду?

2. Чаму роўна сіла току ў правадніку супраціўленнем $R = 2,0 \text{ кОм}$ пры напружанні на ім $U = 4,0 \text{ В}$?

3. Выконваючы практычную работу, вучань вымераў сілу току ў рэзістары супраціўленнем $R = 4,0 \text{ Ом}$ і напружанне на гэтым рэзістары. Вызначыце паказанні вальтметра, калі амперметр паказаў $I = 0,30 \text{ А}$. Намалюйце схему такога ланцуга.

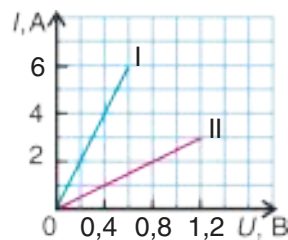
4. Якім супраціўленнем валодае маток жалезнага дроту даўжынёй $l = 200 \text{ м}$ і плошчай папярочнага сячэння $S = 2,0 \text{ мм}^2$?

5. Праз папярочнае сячэнне вальфрамавага дроту за прамежак часу $\Delta t = 5,0 \text{ мін}$ прайшоў зарад $q = 480 \text{ Кл}$. Вызначыце супраціўленне дроту, калі да яго прыкладзена напружанне $U = 8,0 \text{ В}$.

6. Свінцовы дроцік плаўкага засцерагальніка мае сячэнне $S = 0,50 \text{ мм}^2$ і даўжыню $l = 2,0 \text{ см}$. Пры якім напружанні сіла току ў дроціку можа прыняць гранічна дапушчальнае значэнне $I_{\text{гран}} = 10 \text{ А}$?

7. Якая даўжыня сярэбранага дроту плошчай папярочнага сячэння $S = 1,2 \text{ мм}^2$, калі напружанне на ім $U = 0,8 \text{ В}$, а сіла току, які праходзіць у дротце, $I = 5 \text{ А}$?

8. Пабудуйце графік залежнасці сілы току ў правадніку супраціўленнем $R = 5,0 \text{ Ом}$ ад напружання, якое змяняецца ад 0 да 20 В. Ад чаго залежыць вугал нахілу графіка?



Мал. 151



9. Для правядзення эксперыменту выкарыстоўвалі два медныя дроты роўнага папярочнага сячэння. Па выніках даследаванняў пабудавалі вольт-амперныя характарыстыкі гэтых дротаў (мал. 151). Вызначыце даўжыню першага дроту, калі даўжыня другога дроту $l_2 = 3,6 \text{ м}$.



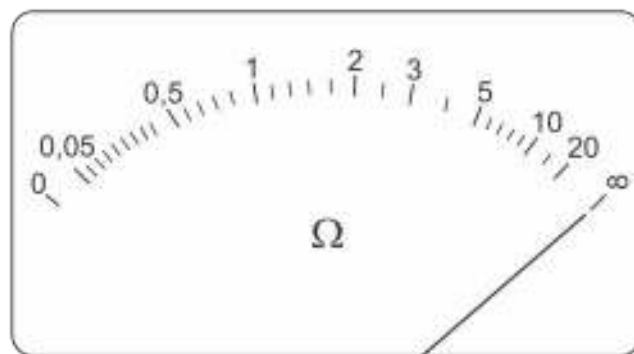
10. Якім супраціўленнем валодае вальфрамавы дрот папярочным сячэннем $S = 0,10 \text{ мм}^2$ і масай $m = 7,72 \text{ г}$? Шчыльнасць вальфраму $D = 19,3 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$.



11. Дрот супраціўленнем $R = 8,0 \text{ Ом}$ нагрэлі і працягнулі праз вузкую адтуліну (фільтэру), што прывяло да падваення яго даўжыні. Якім стала супраціўленне дроту?



12. На малюнку 152 паказаны омметр і яго шкала. Галоўнымі часткамі ўстройства з'яўляюцца батарэйка і гальванометр (адчувальны прыбор для вымярэння току). Рэзістар, супраціўленне якога трэба вымераць, падключаецца да заціскачак, замыкаючы такім чынам электрычны ланцуг. Растлумачце прынцып работы такога ўстройства і размяшчэнне дзяленняў на яго шкале.



Мал. 152

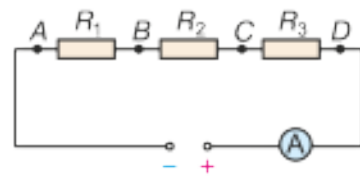


§ 24.

Паслядоўнае злучэнне праваднікоў. Рэзистат

У найпрасцейшым ланцугу да крыніцы падключаецца адзін спажывец (лямпочка, электрарухавік, электразванок і г. д.). Але, як вы ўжо бачылі на малюнку 140, у ланцуг можна ўключыць адначасова і некалькі спажывцоў, злучыўшы іх пэўным чынам. Якім заканамернасцям падпарадкоўваюцца ланцугі, якія змяшчаюць некалькі спажывцоў? Як выгадна іх злучаць?

Самым простым відам злучэння некалькіх спажывцоў з'яўляецца паслядоўнае, пры якім злучаныя праваднікі маюць па адным агульным пункце (мал. 153): B — для праваднікоў R_1 і R_2 , C — для праваднікоў R_2 і R_3 . Паслядоўна мы ўключаем амперметр. Для паслядоўнага злучэння выконваюцца тры галоўныя заканамернасці.



Мал. 153

1. Сіла току ва ўсіх правадніках аднолькавая:

$$I_1 = I_2 = I_3 = I. \quad (1)$$

2. Напружанне на ўчастку з паслядоўна злучаных праваднікоў роўна суме напружанняў на кожным з іх:

$$U = U_1 + U_2 + U_3. \quad (2)$$

Гэта заканамернасць вынікае з фізічнага сэнсу напружання. Поўная работа электрычных сіл на ўчастку AD роўна суме работ, выкананых на ўчастках AB , BC і CD (гл. мал. 153).

3. Па законе Ома $U = IR$, дзе R — супраціўленне ўсяго ўчастку AD , $U_1 = IR_1$, $U_2 = IR_2$, $U_3 = IR_3$. Падставіўшы гэтыя выразы ў формулу (2), атрымаем: $IR = I(R_1 + R_2 + R_3)$, або

$$R = R_1 + R_2 + R_3. \quad (3)$$

Поўнае супраціўленне ўчастку ланцуга з паслядоўна злучаных праваднікоў роўна суме супраціўленняў асобных праваднікоў.

Для выпадку аднолькавых праваднікоў разлік спрашчаецца:

$$R = NR_1,$$

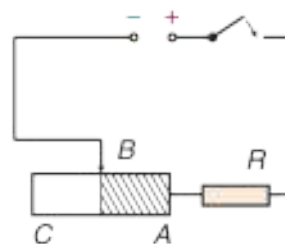
дзе N — лік аднолькавых праваднікоў, супраціўленнем R_1 кожны.

Рост супраціўлення ўчастка ланцуга пры дабаўленні ў яго новых праваднікоў тлумачыцца павелічэннем даўжыні праводзячай часткі. Гэту ўласцівасць можна выкарыстоўваць для памяншэння сілы току ў ланцугу без зніжэння напружання крыніцы. Для практычнага рэгулявання сілы току ў ланцугу зручна выкарыстоўваць спецыяльнае ўстройства — **рэастат**.

На малюнку 154, а паказаны паўзунковы лабараторны рэастат. Доўгі дрот з нікеліну або іншага сплаву з вялікім удзельным супраціўленнем, намотаны на керамічны цыліндр. Адзін канец гэтага дроту выведзены на клему А. Па металічным стрыжні (гл. мал. 154, а) вельмі малога супраціўлення слізгае латунны паўзунок, які шчыльна прыціскаецца да віткаў дроту з абодвух бакоў. Паўзунок злучаны з клемай В. На малюнку 154, б схематычна намалеваны рэастат, які ўключаецца ў электрычны ланцуг праз клеммы А і В. На малюнку 155 добра бачны прынцып работы рэастата. Поўнае супраціўленне ланцуга складаецца з супраціўлення R рэзістара і супраціўлення ўключанай у ланцуг часткі (на малюнку заштрыхавана) рэастата. Незаштрыхаваная частка рэастата ў ланцуг не ўключана. Калі змяніць становішча паўзунка, то зменіцца даўжыня ўключанай у ланцуг часткі рэастата, што прывядзе да змянення сілы току. Так, калі перасунуць паўзунок у крайняе левае становішча (пункт С), то ў ланцуг будзе ўключаны ўвесь рэастат, супраціўленне ланцуга стане найбольшым, а сіла току — найменшай.



Мал. 154



Мал. 155

Для дапытлівых

Існуюць і іншыя тыпы рэастатаў, але ў тэхніцы, напрыклад у электратранспарце, рэгуляванне сілы току рэастатам выцяскаецца іншымі, больш выгаднымі электроннымі рэгулятарами. Справа ў тым, што, змяняючы сілу току ў ланцугу, рэастат награвіаецца, на што расходуюцца значная энергія. Пры вялікім значэнні сілы току дрот рэастата можа перагрэцца і рэастат перастане працаваць. У электронных рэгулятарах гэтыя страты ў сотні разоў меншыя.

Паслядоўнае злучэнне электрапрыбораў у побыце практычна не выкарыстоўваецца. Адкажыце самастойна чаму.

Галоўныя вывады

1. Сіла току ў паслядоўна злучаных правадніках аднолькавая.
2. Напружанне на ўчастку з паслядоўна злучаных праваднікоў роўна суме напружанняў на кожным правадніку.
3. Супраціўленне ўчастку з паслядоўна злучаных праваднікоў роўна суме супраціўленняў асобных праваднікоў.
4. Рэостат дазваляе рэгуляваць сілу току ў ланцугу.

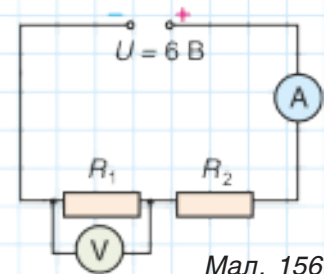
Кантрольныя пытанні

1. Чаму сіла току ў паслядоўна злучаных правадніках аднолькавая?
2. Як звязана напружанне на ўчастку з паслядоўна злучаных праваднікоў і на асобных правадніках? Чаму?
3. Як і чаму змяняецца супраціўленне ўчастку з паслядоўна злучаных праваднікоў пры дабаўленні ў яго новых праваднікоў?
4. У чым заключаецца прынцып рэгулявання сілы току ў ланцугу пры дапамозе рэостата?
5. Як разумець надпісы «6 Ом; 2 А» на лабараторным рэостате?



Прыклад рашэння задачы

Вызначыце паказанні прыбораў у ланцугу, паказаным на малюнку 156. Супраціўленні рэзістараў $R_1 = 20$ Ом, $R_2 = 40$ Ом. Супраціўленне амперметра не ўлічваць; супраціўленне вальтметра лічыць бесканечна вялікім.



Мал. 156

Дадзена:

$$U = 6,0 \text{ В}$$

$$R_1 = 20 \text{ Ом}$$

$$R_2 = 40 \text{ Ом}$$

$$I = ? \quad U_1 = ?$$

Рашэнне

Поўнае супраціўленне ланцуга: $R = R_1 + R_2 = 60$ Ом. Супраціўленне вальтметра не ўлічваем, паколькі ток праз яго практычна не ідзе. Сіла току:

$$I = I_1 = I_2 = \frac{U}{R} = \frac{6,0 \text{ В}}{60 \text{ Ом}} = 0,10 \text{ А.}$$

Паказанне вальтметра роўна напружанню на першым рэзістары:
 $U_1 = IR_1 = 0,10 \text{ А} \cdot 20 \text{ Ом} = 2,0 \text{ В.}$

Адказ: $I = 0,10 \text{ А}$; $U_1 = 2,0 \text{ В.}$

Практыкаванне 16

1. Чаму роўна поўнае супраціўленне ўчастка ланцуга, які складаецца з паслядоўна злучаных рэзістараў $R_1 = 200 \text{ Ом}$, $R_2 = 0,40 \text{ кОм}$, $R_3 = 500 \text{ Ом}$?

2. Да крыніцы з напружаннем $U = 12 \text{ В}$ паслядоўна падключаны рэзістары супраціўленнем $R_1 = 8,0 \text{ Ом}$ і $R_2 = 16 \text{ Ом}$. Чаму роўна поўнае супраціўленне ланцуга? Якая сіла току ў кожным рэзістары? Якое напружанне на кожным рэзістары?

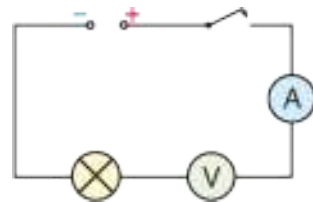
3. Участак электрычнага ланцуга складаецца з паслядоўна злучаных рэзістара супраціўленнем $R = 8,0 \text{ Ом}$ і ніхромавага дроту сячэннем $S = 0,22 \text{ мм}^2$ і даўжынёй $l = 80 \text{ см}$. Вызначыце сілу току на ўчастку ланцуга пры падачы на яго напружання $U = 12 \text{ В}$. Якім будзе напружанне на рэзістары і на дротце?

4. Да крыніцы, якая дае напружанне $U = 4,0 \text{ В}$, далучылі рэзістар супраціўленнем $R_1 = 8,0 \text{ Ом}$ і паслядоўна з ім другі рэзістар з невядомым супраціўленнем. Вызначыце супраціўленне другога рэзістара, калі сіла току ў ланцугу $I = 0,20 \text{ А}$.

5. Лямпу супраціўленнем $R_1 = 4,0 \text{ Ом}$, разлічаную на намінальнае напружанне $U_1 = 12 \text{ В}$, трэба падключыць да крыніцы, якая мае напружанне $U = 15 \text{ В}$. Якое дадатковае супраціўленне трэба ўключыць у ланцуг? Ці прыдатны для гэтай мэты школьны лабараторны рэастант?

6. Рэзістар супраціўленнем $R = 12 \text{ Ом}$ падключаны паслядоўна з лабараторным рэастантам (гл. мал. 155) да крыніцы напружанням $U = 4,5 \text{ В}$. Якой будзе сіла току ў ланцугу пры крайніх становішчах паўзунка рэастанта і пры ўстаноўцы яго на сярэдзіну?

7. Вымяраючы напружанне на лампе, навучэнец памылкова ўключыў вальтметр не паралельна, а паслядоўна з ёй (мал. 157). Як адаб'ецца такое ўключэнне на святленні лампы і на паказаннях амперметра?



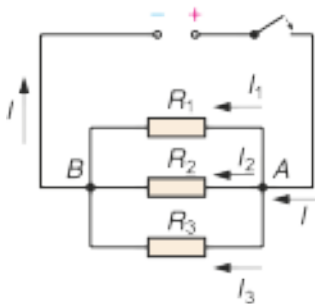
Мал. 157



§ 25.

Паралельнае злучэнне праваднікоў

Паслядоўна ў ланцуг можна злучаць толькі спажывыцы, разлічаныя на аднолькавую сілу току. Акрамя таго, калі ў такім ланцугу выключыць ток у адным звяне, то разарвецца ўвесь ланцуг. Гэтых недахопаў пазбаўлены ланцуг, у якім спажывыцы злучаны паралельна.



Мал. 158

Пры паралельным злучэнні праваднікоў яны маюць па два агульныя пункты — пункты A і B на малюнку 158. Вынікам гэтага з'яўляецца тое, што напружанне U паміж пунктамі A і B ёсць напружанне на кожным з праваднікоў, г. зн.

$$U_1 = U_2 = U_3 = U. \quad (1)$$

Гэта першая заканамернасць паралельнага злучэння. Напружанне на кожным з паралельна злучаных праваднікоў аднолькавае і роўна напружанню на ўсім участку паралельна злучаных праваднікоў.

Другая заканамернасць паралельнага злучэння вынікае з таго, што электрычны зарад, які накіравана рухаецца ў ланцугу, не знікае і не ўзнікае з нічога. Ён толькі дзеліцца на часткі (у пункце A , гл. мал. 158) з наступным аб'яднаннем (у пункце B). Такім чынам,

$$I = I_1 + I_2 + I_3. \quad (2)$$

Сіла току ў неразгалінаванай частцы ланцуга роўна суме сіл току ў яе галінах (у кожным з паралельна злучаных праваднікоў). Звярніце ўвагу на прынятую тэрміналогію: «галіны ланцуга», «неразгалінаваная частка». Самастойна вызначыце, ці будуць сілы току ў галінах (I_1 , I_2 , I_3 на малюнку 158) аднолькавыя, калі супраціўленні галін розныя.

Трэцяя заканамернасць паралельнага злучэння вызначае агульнае супраціўленне разгалінаванага ўчастка (участка AB на малюнку 158). Улічым, што сіла току $I = I_1 + I_2 + I_3$, а напружанне $U = U_1 = U_2 = U_3$. Выкарыстаўшы закон Ома, атрымаем: $\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3}$, адкуль

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}. \quad (3)$$

Велічыня, адваротная супраціўленню ўчастка паралельна злучаных праваднікоў, роўна суме велічынь, адваротных супраціўленню асобных праваднікоў.

▼ Для дапытлівых

Велічыню $\frac{1}{R}$, адваротную супраціўленню правадніка, называюць **праводнасцю правадніка**. Такая назва лагічная. Яна падкрэслівае, што калі праваднік мае вялікае супраціўленне, то ў правадніка малая праводнасць. З улікам гэтага трэцюю заканамернасць можна сфармуляваць так: **праводнасць разгалінаванага ўчастка ланцуга роўна суме праводнасцей галін**.

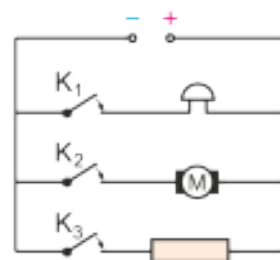
З формулы (3) вынікае, што дабаўленне да паралельнага ўчастка новых праваднікоў памяншае супраціўленне R участка. Гэта тлумачыцца тым, што падключэнне паралельна дадатковага правадніка не мяняе даўжыню ўчастка электрычнага ланцуга, але павялічвае плошчу папярочнага сячэння ланцуга. А супраціўленне $R = \rho \frac{l}{S}$ адваротна прапарцыянальна плошчы. Калі злучаемыя праваднікі аднолькавыя ($R_1 = R_2 = \dots = R_N$), то разлік супраціўлення ўчастка спрашчаецца: $\frac{1}{R} = N \cdot \frac{1}{R_1}$, або

$$R = \frac{R_1}{N}. \quad (4)$$

Паралельнае злучэнне дазваляе падключаць да крыніцы і адключаць ад яе *незалежна* адзін ад аднаго розныя спажывы (мал. 159). Менавіта таму паралельна злучаны ўсе электрапрыборы ў нашых кватэрах, у аўтамабілях, на прадпрыемствах і г. д. Пры адключэнні адной галіны астатняя частка ланцуга працуе.

Калі паралельна злучаны толькі два праваднікі, то $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 \cdot R_2}$, што прыводзіць да простага выразу для разліку супраціўлення такога ўчастка:

$$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}. \quad (5)$$



Мал. 159

Галоўныя вывады

1. Напружанне на паралельна злучаных правадніках аднолькавае.
2. Сіла току ў неразгалінаванай частцы ланцуга роўна суме сіл току ў галінах.
3. Велічыня, адваротная супраціўленню разгалінаванага ўчастка, роўна суме велічынь, адваротных супраціўленню асобных галін.
4. Паралельна можна злучаць спажывы, разлічаныя на розныя сілы току.
5. Чым больш паралельна злучаных праваднікоў уваходзіць ва ўчастак ланцуга, тым меншае яго супраціўленне.

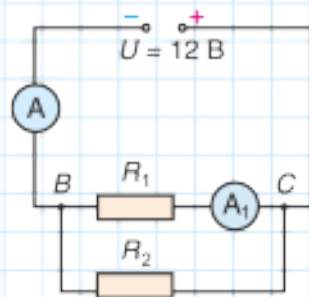
Кантрольныя пытанні

1. Чаму напружанне на паралельна злучаных правадніках аднолькавае?
2. Чаму супраціўленне ўчастка памяншаецца пры паралельным злучэнні дадатковых праваднікоў?
3. Чаму ў кватэрнай і аўтамабільнай праводках практычна заўсёды выкарыстоўваецца паралельнае злучэнне спажывцоў?
4. Ці роўныя сілы току ў паралельна злучаных правадніках? Ад чаго залежаць іх значэнні?



Прыклад рашэння задачы

У ланцугу, паказаным на малюнку 160, супраціўленне рэзістара $R_1 = 60 \text{ Ом}$. Амперметр A паказвае сілу току $I = 0,50 \text{ А}$. Знайдзіце паказанні амперметра A_1 ; поўнае супраціўленне ўчастка BC ; супраціўленне рэзістара R_2 .



Мал. 160

Дадзена:

$$U = 12 \text{ В}$$

$$R_1 = 60 \text{ Ом}$$

$$I = 0,50 \text{ А}$$

$$I_1 = ?$$

$$R_{BC} = ?$$

$$R_2 = ?$$

Рашэнне

Паколькі рэзістары падключаны да пунктаў B і C , напружанне на іх роўна напружанню крыніцы:

$$U_1 = U_2 = U_{BC} = U = 12 \text{ В}.$$

$$\text{Адсюль сіла току: } I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{12 \text{ В}}{60 \text{ Ом}} = 0,20 \text{ А}.$$

Сіла току ў другім рэзістары:

$$I_2 = I - I_1 = 0,50 \text{ А} - 0,20 \text{ А} = 0,30 \text{ А}.$$

Супраціўленне гэтага рэзістара:

$$R_2 = \frac{U}{I_2} = \frac{12 \text{ В}}{0,30 \text{ А}} = 40 \text{ Ом}.$$

Поўнае супраціўленне ўчастка BC :

$$R_{BC} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{60 \text{ Ом} \cdot 40 \text{ Ом}}{100 \text{ Ом}} = 24 \text{ Ом}.$$

Гэты адказ можна было знайсці і адразу, прымяніўшы закон Ома да ўчастка BC цалкам: $R_{BC} = \frac{U}{I} = \frac{12 \text{ В}}{0,50 \text{ А}} = 24 \text{ Ом}.$

Адказ: $I_1 = 0,20 \text{ А}$; $R_{BC} = 24 \text{ Ом}$; $R_2 = 40 \text{ Ом}.$

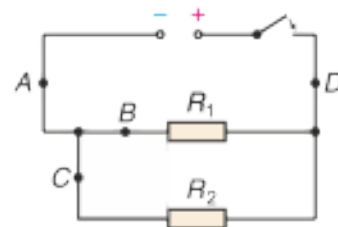
Практыкаванне 17

1. Вызначыце супраціўленне ўчастка электрычнага ланцуга, які складаецца з двух паралельна злучаных рэзістараў супраціўленнямі $R_1 = 200 \text{ Ом}$, $R_2 = 300 \text{ Ом}$.

2. Участак ланцуга агульным супраціўленнем $R = 20 \text{ Ом}$ змяшчае чатыры аднолькавыя рэзістары, злучаныя паралельна. Якім стане агульнае супраціўленне ўчастка ланцуга пры замене паралельнага злучэння рэзістараў на паслядоўнае?

3. Які рэзістар і як трэба падключыць да рэзістара супраціўленнем $R_1 = 20 \text{ Ом}$, каб іх агульнае супраціўленне стала роўным $R = 16 \text{ Ом}$?

4. Рэзістары супраціўленнямі $R_1 = 4,0 \text{ кОм}$ і $R_2 = 6,0 \text{ кОм}$ падключаны да крыніцы напружаннем $U = 12 \text{ В}$. Якімі будуць паказанні амперметра, калі яго ўключыць у ланцуг, зрабіўшы разрыў у адным з пунктаў A , B , C , D (мал. 161)?



Мал. 161



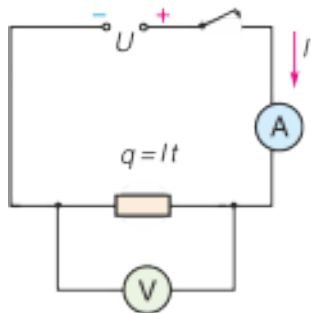
§ 26.

Робота і магутнасць электрычнага току. Закон Джоўля — Ленца

Успомнім, перш за ўсё, што работу выконваюць сілы, і прыведзеныя ў назве параграфа словазлучэнні «работа току», «магутнасць току» не зусім дакладныя. Больш правільна гаварыць аб **работе электрычных сіл**, якія рухаюць зарад у правадніку і ствараюць у ім такім чынам электрычны ток. Як вызначыць гэту работу?

Мы ведаем (гл. § 18), што значэнне гэтай работы прапарцыянальна перанесенаму зараду q і напружанню U паміж пачатковым і канечным пунктамі:

$$A = qU,$$



Мал. 162

дзе U — гэта напружанне на разглядаемым рэзістары (электрарухавіку і г. д.), яго мы можам вымераць вальтметрам. Перанесены зарад q можна знайсці, вымераўшы сілу току I і час t (мал. 162). Сапраўды, з формулы сілы току $I = \frac{q}{t}$ вынікае $q = It$. Такім чынам, работа току на ўчастку ланцуга

$$A = IUt. \quad (1)$$

З формулы (1) вынікае, што калі напружанне выразіць у вольтах, сілу току — у амперах, час — у секундах, а работу — у джоўлях, то $1 \text{ Дж} = 1 \text{ А} \cdot 1 \text{ В} \cdot 1 \text{ с}$.

Вы ўжо ведаеце, што хуткасць выканання работы характарызуе магутнасць $P = \frac{A}{t}$. Тады магутнасць току

$$P = IU. \quad (2)$$

З формулы (2) магутнасць $1 \text{ Вт} = 1 \text{ А} \cdot 1 \text{ В}$.

Калі энергія крыніцы току ператвараецца толькі ва ўнутраную энергію (ідзе на награванне правадніка), то, выкарыстаўшы закон Ома, работу току і магутнасць можна запісаць інакш. Паколькі напружанне $U = IR$, то $A = IIRt$, або

$$A = I^2 R t, \quad (3)$$

а магутнасць

$$P = I^2 R. \quad (4)$$

Формулы (3) і (4) зручна выкарыстоўваць для ланцугоў з паслядоўным злучэннем праваднікоў, паколькі сіла току ў правадніках аднолькавая. Для паралельна злучаных праваднікоў работу і магутнасць зручней выражаць праз аднолькавае для іх напружанне, выключыўшы сілу току. Сіла току $I = \frac{U}{R}$, тады $A = \frac{U}{R} U t$, або

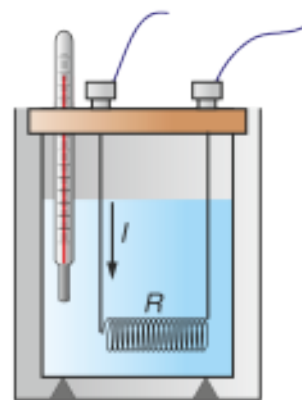
$$A = \frac{U^2 t}{R}, \quad (5)$$

а магутнасць

$$P = \frac{U^2}{R}. \quad (6)$$

Англіійскі вучоны Дж. П. Джоўль і рускі вучоны Э. Х. Ленц яшчэ ў першай палове XIX ст. незалежна адзін ад аднаго правялі дослед, які схематычна паказаны на малюнку 163. Атрыманыя ім вынікі дазволілі ўстанавіць формулу для разліку колькасці цеплаты, якая вылучаецца ў правадніку пры праходжанні па ім току. Прапускаючы ток рознай сілы праз праваднікі рознага супраціўлення і вымяраючы колькасць вылучанай цеплаты, яны прыйшлі да залежнасці

$$Q = I^2 R t. \quad (7)$$



Мал. 163

Гэты выраз называюць законам Джоўля — Ленца.

Колькасць цеплаты, якая вылучаецца ў правадніку, прапарцыянальна квадрату сілы току, супраціўленню правадніка і часу праходжання току.

Для вялікіх значэнняў выкананай токам работы шырока выкарыстоўваюць пазасістэмную адзінку кілават-гадзіну (1 кВт · г). Яна выводзіцца з сувязі магутнасці і работы:

$$A = P t \quad (1 \text{ кВт} \cdot 1 \text{ г} = 1 \text{ кВт} \cdot \text{г}).$$

Прапануем самастойна даць азначэнне гэтай адзінкі.

Як перавод у адзінкі СІ: $1 \text{ кВт} \cdot \text{г} = 1,0 \cdot 10^3 \text{ Вт} \cdot 3600 \text{ с} = 3\,600\,000 \text{ Дж}$, або $1 \text{ кВт} \cdot \text{г} = 3600 \text{ кДж}$. Менавіта ў кілават-гадзінах мы вызначаем па лічылніку і аплачвааем расход электраэнергіі.

Галоўныя вывады

1. Работу электрычных сіл у правадніку называюць работай электрычнага току.
2. Работа электрычнага току на ўчастку ланцуга залежыць ад велічыні перанесенага зараду і напружання на гэтым участку.
3. Колькасць вылучаемай у правадніку цеплаты прапарцыянальна квадрату сілы току, супраціўленню правадніка і часу праходжання току.
4. Для прастаты разлікаў у побыце расход электраэнергіі выражаюць у кілават-гадзінах: $1 \text{ кВт} \cdot \text{г} = 3600 \text{ кДж}$.

Кантрольныя пытанні

1. Што называюць работай электрычнага току?
2. Чаму замест формулы $A = qU$ часцей карыстаюцца формулай $A = IUt$?
3. Як быў устаноўлены закон Джоўля — Ленца? Як ён чытаецца?
4. Пры якіх умовах выкарыстоўваецца формула работы току $A = I^2 R t$?



Прыклад рашэння задачы

З дапамогай электранагравальніка супраціўленнем $R = 81 \text{ Ом}$ ваду аб'ёмам $V = 2,0 \text{ л}$ награвваюць ад тэмпературы $t_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ да кіпення за час $\tau = 20 \text{ мін}$. Вызначыце ККДз награвальніка, калі напружанне ў сетцы $U = 220 \text{ В}$.

Дадзена:

$$R = 81 \text{ Ом}$$

$$U = 220 \text{ В}$$

$$V = 2,0 \text{ л} = 2,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

$$t_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$c = 4,2 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$\rho = 1,0 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\tau = 20 \text{ мін} = 1200 \text{ с}$$

$$\eta \text{ — ?}$$

Рашэнне

$$\text{Па азначэнні } \eta = \frac{A_{\text{кар}}}{A_{\text{вык}}} \cdot 100 \text{ \%}.$$

Карысная работа роўна павелічэнню ўнутранай энергіі вады, г. зн. колькасці атрыманай ёю цеплаты:

$$A_{\text{кар}} = Q = cm(t_2 - t_1).$$

Масу вады выразім праз яе шчыльнасць і аб'ём $m = \rho V$, тады $A_{\text{кар}} = c\rho V(t_2 - t_1)$. Выкананая токамі работа

$$A_{\text{вык}} = \frac{U^2 \tau}{R}.$$

Значыць, ККДз $\eta = \frac{c\rho V(t_2 - t_1)R}{U^2 \tau} \cdot 100\%$;

$$\eta = \frac{4,2 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 1,0 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 2,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 \cdot 80^\circ\text{C} \cdot 81 \text{ Ом}}{48\,400 \text{ В}^2 \cdot 1200 \text{ с}} \cdot 100\% = 94\%.$$

Адказ: $\eta = 94\%$.

Практыкаванне 18

1. Якая работа выконваецца электрычным токам у правадніку, у якім пры напружанні $U = 12 \text{ В}$ праходзіць зарад $q = 20 \text{ Кл}$ за час $t = 4,0 \text{ с}$? Якое значэнне магутнасці току?

2. Якую работу выконвае за суткі электрычны ток сілай $I = 5,0 \text{ мкА}$ ў электронным гадзінніку, які працуе ад батарэйкі напружаннем $U = 1,5 \text{ В}$?

3. Супраціўленне награвальнага элемента электрачайніка $R = 40 \text{ Ом}$. Вызначыце работу і магутнасць току, калі напружанне, ад якога сілкуецца чайнік, $U = 220 \text{ В}$, а час работы чайніка $t = 4,0 \text{ мін}$.

4. Якія магутнасць і сіла току ў спіралі праса супраціўленнем $R = 30 \text{ Ом}$ пры ўключэнні ў сетку напружаннем $U_1 = 220 \text{ В}$? Якім павінна быць супраціўленне спіралі, каб прас даваў такі ж нагрэў пры ўключэнні ў сетку напружаннем $U_2 = 110 \text{ В}$?

5. Электраплітка разлічана на напружанне $U = 220 \text{ В}$ і сілу току $I = 3,0 \text{ А}$. За які час яна выкарыстае энергію току $W = 0,66 \text{ кВт} \cdot \text{г}$?

6. Электрапад'ёмнік спажывае ток сілай $I = 10 \text{ А}$ пры напружанні $U = 220 \text{ В}$. Прымаючы ККДз пад'ёмніка $\eta = 80\%$, разлічыце час пад'ёму груза масай $m = 500 \text{ кг}$ на вышыню $h = 8,0 \text{ м}$.



7. Дзве электрапліткі з надпісамі «220 В; 600 Вт» і «220 В; 1200 Вт» уключаюць у сетку напружаннем $U = 220 \text{ В}$. У якой з электраплітак будзе вылучацца за роўны час больш цеплаты, калі іх злучыць: а) паслядоўна; б) паралельна?



8. Сіла электрычнага току ў кватэрнай электраправодцы не павінна перавышаць $I = 10 \text{ А}$. Пры большых значэннях сілы току праводка плавіцца. Вызначыце, якія спажывыцы вы можаце ўключыць адначасова ў сетку напружаннем $U = 220 \text{ В}$, каб сіла току ў сетцы не перавысіла гранічна дапушчальную. Прыкладныя магутнасці спажывоў: пральнай машыны — $P_1 = 2 \text{ кВт}$; халадзільніка — $P_2 = 0,2 \text{ кВт}$; тэлевізара — $P_3 = 0,3 \text{ кВт}$; праса — $P_4 = 0,8 \text{ кВт}$; пыласоса — $P_5 = 1,4 \text{ кВт}$; электрачайніка — $P_6 = 1,2 \text{ кВт}$; электрапліты — $P_7 = 1,8 \text{ кВт}$; печы ЗВЧ — $P_8 = 0,8 \text{ кВт}$.



§ 27.

Выкарыстанне і эканомія электраэнергіі. Бяспека пры рабоце з электрапрыборамі

(для дадатковага чытання)



Мал. 164



Мал. 165



Мал. 166



Мал. 167

Выкарыстанне электрычнасці дазволіла чалавечтву за два папярэднія стагоддзі стварыць прылады і прыборы, якія радыкальна змянілі яго жыццё. Пакуль вы яшчэ не атрымалі дастаткова ведаў, каб зразумець прынцыпы работы многіх з іх. Але ўсім вам вельмі важна ведаць правілы бяспечнага карыстання электрапрыборамі.

У нашы дні шырока выкарыстоўваюцца энергазберагальныя газаразрадныя лампы (мал. 164). У іх ток праходзіць не праз металічную спіраль, а праз сумесь газаў. Газаразрадная энергазберагальная лампа, спажываючы магутнасць усяго 20 Вт, дае такі ж светлавы паток, як лампа напальвання магутнасцю 100 Вт. Аднак гэтыя лампы ўжо актыўна выцясняюцца яшчэ больш эканамічнымі і даўгавечнымі святлодыёднымі лампамі (мал. 165, 166).

Пераўтварэнне электрычнай энергіі ва ўнутраную адбываецца ў такіх электранагравальных прыборах, як прас, паяльнік, кіпяцільнік, электрарайнік (мал. 167). Усе яны маюць награвальны элемент з матэрыялу (звычайна сплаву) з досыць вялікім супраціўленнем. А вось у мікрахвалевай печы (мал. 168) такога элемента няма. Награванне прадуктаў адбываецца за кошт уздзеяння на малекулы вады, што ў іх змяшчаюцца, хутка зменлівым электрычным полем. Гэта адлюстравана і ў афіцыйнай назве «мікрахвалёвак» — печы ЗВЧ, г. зн. печы, якія выкарыстоўваюць поле звышвысокай частаты.

На жаль, мы не можам растлумачыць зараз прынцып работы іншых, больш складаных бытавых прыбораў. Адзначым толькі, што ўсе яны: камп’ютар, тэлевізар, тэлефон (сеткавы і мабіль-

ны), планшэт (мал. 169), ноўтбук, халадзільнік, пральная машына — выкарыстоўваюць магнітныя дзеянні току.

Рост колькасці электрапрыбораў у побыце і на вытворчасці робіць важнай задачу эканоміі электраэнергіі. Як рашыць гэту задачу?

Па-першае, шукаць новыя **энергазберагальныя тэхналогіі**. Ствараць новыя мадэлі тэлевізараў, халадзільнікаў, транспартных сродкаў. Так, распрацаваны ў беларускім аб'яднанні «Белкамунмаш» безрэстатны спосаб рэгулявання сілы току дазволіў на трэць паменшыць спажыванне току тралейбусам. Беларускі тралейбус (мал. 170) цяпер прызнаны ва ўсім свеце.

Другі напрамак, які дазваляе значна паменшыць спажыванне электраэнергіі, — гэта **павышэнне культуры энергакарыстання**.

Часта мы, выходзячы на перапынак, не выключаем у класе святло. З закону захавання і ператварэння энергіі вынікае: чым менш электраэнергіі мы спажываем, свечасова выключаючы святло і выкарыстоўваючы эканомныя лямпачкі, тым менш паліва (газу, мазуту) расходуюцца на электрастанцыі, дзе пры адключэнні лішкавай нагрукі «разумныя» дазіруючыя прылады хутка і дакладна скарачаюць яго падачу.

Не будзем забываць аб магчымасці выкарыстання прыродных крыніц энергіі: ветру і асабліва Сонца. Так, праблему атрымання гарачай вады для дачы можна рашыць па меншай меры двума спосабамі. Можна купіць у краме электраводанагравальнік магутнасцю больш за 2 кВт і пагоршыць праблему расходу электраэнергіі. А можна зрабіць сонечны награвальнік, выкарыстаўшы пафарбаваную ў чорны колер ёмістасць (бочку) (мал. 171). Закрыйце яе з усіх бакоў, акрамя паўднёвага, цеplaізалятарам (шклаватай, пенапластам ці нават мохам) і забяспечце павернутай да сонца зашклёнай рамай. Вы зможаце прымаць цёплы душ з красавіка па верасень.



Мал. 168



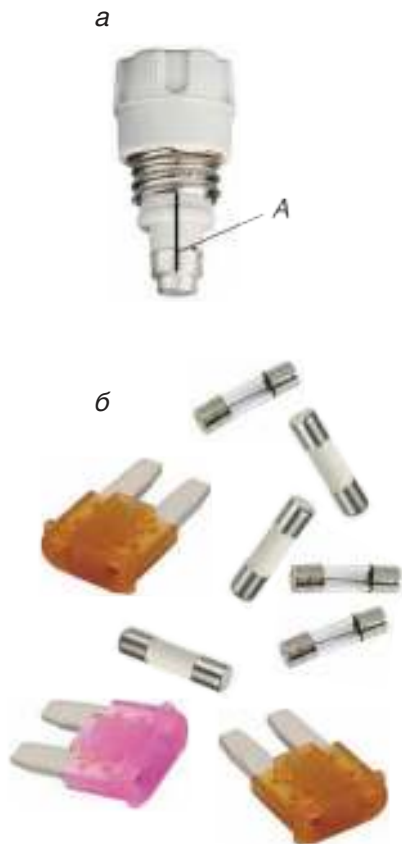
Мал. 169



Мал. 170



Мал. 171



Мал. 172

Спынімся на тых небяспеках, якія абавязкова трэба ўлічваць пры рабоце з электрапрыборамі.

Па-першае, цела чалавека, якое складаецца ў асноўным з вадкасці, з'яўляецца добрым правадніком. Толькі значнае супраціўленне загрузбелай скуры рук перашкоджае праходжанню праз цела току вялікай сілы. Таму пры малых напружаннях у некалькі вольт праз нас праходзіць ток сілай у доли міліампера, які мы нават не адчуваем. Але, ужо пачынаючы з напружання $U = 36$ В, узросшая сіла току можа выклікаць прыкметнае біялагічнае дзеянне, а ток сілай больш за $I = 100$ мА, як правіла, выклікае смерць.

Уважліва і сур'ёзна стаўцеся да правіл тэхнікі бяспекі, якія вам паведамляе настаўнік перад правядзеннем лабараторных работ. Любы рамонт дома (нават замену лямпачак) выконвайце толькі пры адключаным напружанні.

Другі від небяспекі пры выкарыстанні электрычнага току звязаны з тым, што вылучэнне цеплаты адбываецца не толькі ў нагрузцы (лямпачцы, электрарухавіку), але і ў падводзячых правадах і крыніцы. Пры невялікіх токах гэта цеплата вельмі малая, але пры значных токах яна рэзка ўзрастае ($Q = I^2 R t$), праводка моцна награвецца, што можа прывесці да пажару. Асабліва моцнае награванне будзе ў месцах дрэннага злучэння правадоў (вілкі, штэпсельныя гнёзды).

Такая сітуацыя можа ўзнікнуць пры падключэнні адначасова **занадта вялікай колькасці спажывцоў**: абагравальніка, пральнай машыны, кіпяцільніка, праса і г. д. Акрамя таго, гэта сітуацыя непазбежна пры **кароткім замыканні** ў ланцугу (гл. § 22). У гэтым выпадку пашкоджваецца не толькі праводка, але і сама крыніца току, якая перагравецца токам велізарнай сілы.

Для экстранага разрыву ланцугу ў такіх сітуацыях служаць **засцерагальнікі** (мал. 172, 173).



Мал. 173

Самы прасты засцерагальнік — **плаўкі** — уяўляе сабой свінцовы дроцік *A*, які паслядоўна ўключаецца ў ланцуг (гл. мал. 172, *a*). Пры дасягненні ў ланцугу току пэўнай сілы (напісана на засцерагальніку) тонкі дроцік награвецца і расплаўляецца, разрываючы перагружаны ланцуг. Ліквідаваўшы прычыну перагрузкі, неабходна паставіць **новы** засцерагальнік, разлічаны на той жа гранічны ток. Ніколі нельга замяняць засцерагальнік кавалачкам меднага дроту (яго часта называюць «жучком»). Ён можа згарэць пасля таго, як пачне гарэць ад перагрэву ізаляцыя электраправодкі. На малюнку 172, *б* паказаны іншыя віды плаўкіх засцерагальнікаў.

Другі від засцерагальніка — аўтаматычны (гл. мал. 173), які разрывае ланцуг пры дасягненні пэўнай сілы току. У адрозненне ад плаўкага гэты засцерагальнік пры спрацоўванні не разбураецца і можа быць зноў вернуты ў рабочы стан. Такія аўтаматы-засцерагальнікі ўстанаўліваюцца каля кватэрных лічальнікаў электраэнергіі.

■ Галоўныя вывады

1. Эканомія электраэнергіі дасягаецца ўдасканаленнем тэхналогій і абсталявання, а таксама высокай культурай энэргакарыстання.
2. Небяспека пры рабоце з электрычнымі ланцугамі звязана з магчымасцю паражэння чалавека токам або пажаранебяспечным павышэннем тэмпературы электраправодкі.
3. Засцерагальнікі служаць для экстранага разрыву ланцугоў пры перагрузцы і кароткіх замыканнях.

? Кантрольныя пытанні

1. Чаму ў практычных работах забаронена выкарыстанне напружання, якое перавышае 36 В?
2. Што такое перагрузка ланцуга? Чым яна небяспечна?
3. Чаму дрот плаўкага засцерагальніка робяць са свінцу?
4. Ці правільнае сцверджанне, што засцерагальнік не дапускае ўзнікнення перагрузак і кароткіх замыканняў?
5. Чаму неабходна кантраляваць мацаванне правадоў у штэпсельных вілках і разетках?



§ 28.

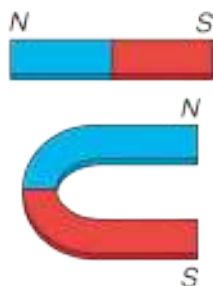
Пастаянныя магніты



Мал. 174



Мал. 175



Мал. 176

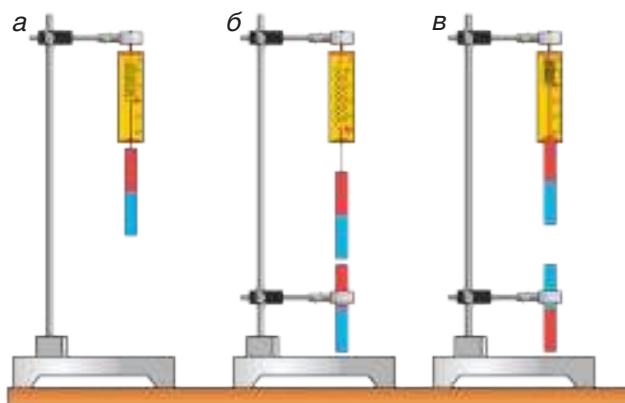


Мал. 177

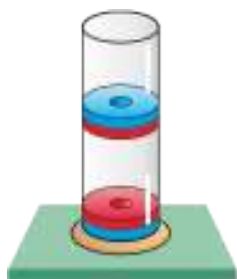
Да гэтага часу мы разглядалі электрычныя з'явы. Дослед па прапусканні току праз ізаляваны праваднік, навіты на жалезны стрыжань (мал. 174), паказаў, што шпуля са стрыжнем становіцца магнітам. Ён прыцягвае цвікі, шпількі. Ужо з гэтага факта вынікае, што электрычныя і магнітныя з'явы звязаны паміж сабой. У чым сутнасць магнетызму?

Гісторыя адкрыцця магнетызму ідзе каранямі ў глыбокую старажытнасць, да антычных цывілізацый Малой Азіі. У старажытным горадзе Магнезія на тэрыторыі Малой Азіі была знойдзена горная парода, узоры якой прыцягваліся адзін да аднаго. Па назве горада іх сталі называць магнітамі. Вы добра ведаеце ўласцівасць магніта прыцягваць да сябе жалезныя і сталёныя прадметы: гайкі, шайбы, сашчэпкі, манеты (мал. 175). Вядома, што магніт не прыцягвае целы з каляровых металаў (медзі, алюмінію і інш.). Магніты бываюць розных форм, але найбольш распаўсюджаны паласавы і падковападобны магніты (мал. 176).

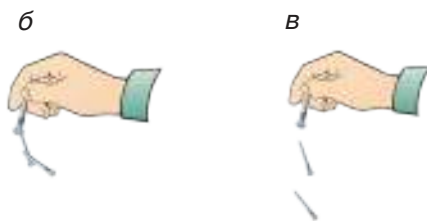
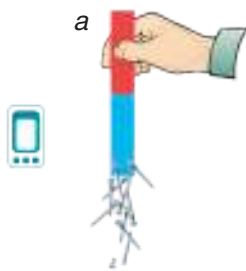
Здольнасць магніта прыцягваць прадметы можна вывучыць пры дапамозе дынамометра з жалезным цвіком (мал. 177). Падносячы да цвіка розныя ўчасткі магніта, можна выявіць, што найбольш моцнае прыцяжэнне на канцах магніта. Іх называюць **полюсамі** магніта: **паўночным**



Мал. 178



Мал. 179



Мал. 180

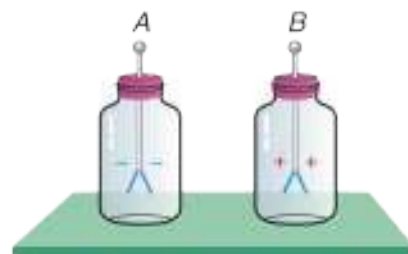
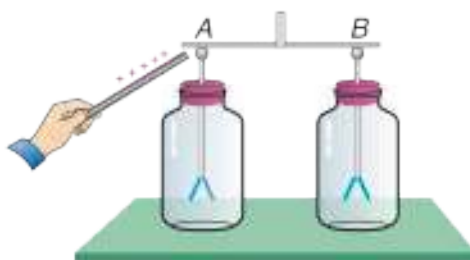
(абазначаюць літарай *N*) і **паўднёвым** (абазначаюць літарай *S*). Выяўлена, што на сярэдзіне магніта прыцяжэння няма. Гэта — **нейтральная зона**.

Вывучыць узаемадзеянне двух магнітаў можна на доследзе. Замацуем магніты: адзін да пружыны дынамометра (мал. 178, *а*), а другі жорстка да штатыва. Па паказаннях дынамометра можна вызначыць сілу прыцяжэння рознаіменных полюсаў (мал. 178, *б*) і сілу адштурхвання аднайменных полюсаў (мал. 178, *в*). Сіла ўзаемадзеяння залежыць ад адлегласці паміж полюсамі і можа нават перавышаць або быць роўнай сіле цяжару магніта. Гэта пацвярджае дослед з «лунаючым» у паветры магнітам (мал. 179).



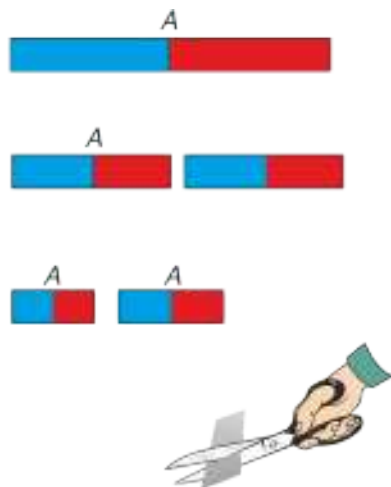
Мал. 181

Разглядаючы ланцужок прыцягнутых да магніта цвікоў (мал. 180, *а*), можна зрабіць яшчэ адну вельмі важную выснову. Пад дзеяннем магніта целы (цвікі) могуць намагнічвацца (мал. 180, *б*), г. зн. ператварацца ў магніты. У цвікоў са звычайнага (мяккага) жалеза намагнічанасць пасля аддалення ад магніта практычна цалкам знікае (мал. 180, *в*). Але ў сталі і некаторых іншых сплаваў намагнічанасць захоўваецца. Напрыклад, сталыя нажніцы пасля кантакту з магнітам самі сталі магнітам і намагніцілі лязо брытвы (мал. 181).



Мал. 182

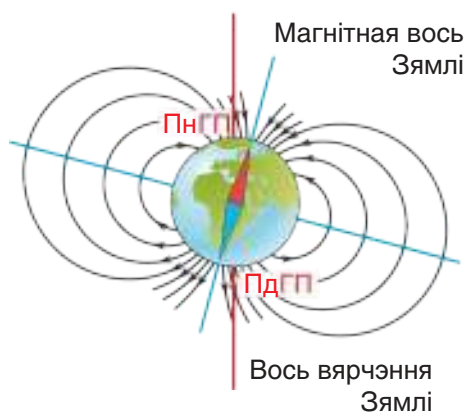
Магніты, якія ёсць у кабінёце фізікі, выраблены са спецыяльнай сталі і намагнічаны дзеяннем вельмі моцнага магніта. Іх полюсы афарбаваны ў традыцыйныя колеры: **паўночны полюс** — у **сіні**, **паўднёвы полюс** — у **чырвоны**. Вельмі моцным награваннем або іншымі ўздзеяннямі любы магніт можна **размагніціць**.



Мал. 183



Мал. 184



Мал. 185

Узаемадзеянне магнітаў мае падабенства з узаемадзеяннем электрычна зараджаных цел. У абодвух выпадках аднайменныя полюсы (зарады) адштурхваюцца, а рознаіменныя полюсы (зарады) прыцягваюцца. Але ў гэтых узаемадзеяннях ёсць і адрозненне. Электрычныя зарады можна аддзяліць адзін ад аднаго. Успомніце электрызацыю трэннем і электрызацыю праз уплыў (мал. 182). А вось полюсы магніта непадзельныя. Разразаючы магніт на часткі (усё роўна, роўныя ці няроўныя), вы не аддзеліце яго полюсы адзін ад аднаго, а будзеце атрымліваць новыя магніты. Кожны з іх будзе мець нейтральную зону А і два полюсы: паўночны і паўднёвы (мал. 183).

Узаемадзеяннем магнітаў тлумачыцца прынцып работы компаса (мал. 184). Стрэлка компаса — гэта лёгкі моцны магніт, які можа паварочвацца вакол вертыкальнай восі. З якім жа другім магнітам узаемадзейнічае стрэлка компаса? Такім гіганцкім магнітам з’яўляецца наша Зямля.



Для дапытлівых

Упершыню гэта даказаў англійскі даследчык У. Гільберт (1544—1603). Ён вырабіў з магнітнага жалезняку шар вялікага дыяметра — «магнітны глобус». Абыходзячы шар з компасам, ён паказаў, што арыентацыя стрэлкі ва ўсіх вывучаемых пунктах цалкам капіруе яе арыентацыю ў розных пунктах Зямлі.

Магнітныя полюсы Зямлі (мал. 185) размешчаны не вельмі далёка ад геаграфічных Паўночнага і Паўднёвага полюсаў нашай планеты. Таму стрэлка компаса ўстанаўліваецца ў напрамку, бліжэй да напрамку зямнога мерыдыяна (з поўдня на поўнач). Менавіта таму полюсы ўсіх магнітаў атрымалі свае назвы (паўночны, паўднёвы)

і абазначэнні (*N*, *S* — ад гал. *Nord*, *Sud*). Строга кажучы, стрэлка компаса паказвае напрамак **магнітнага мерыдыяна**. Яе паўночны канец арыентаваны не на Паўночны геаграфічны полюс (ПнГП) планеты, а на **Паўднёвы магнітны полюс Зямлі**.

▼ Для дапытлівых

Надзвычай цікавым і цяжкім для тлумачэння з'яўляецца дакладна даказаны факт змянення месцазнаходжання магнітных полюсаў Зямлі з цягам часу. Так, шмат гадоў назад Паўднёвы магнітны полюс знаходзіўся там, дзе цяпер знаходзіцца Паўночны!

■ Галоўныя вывады

1. Полюсы магніта непадзельныя.
2. Аднайменныя полюсы магнітаў адштурхваюцца, а рознаіменныя — прыцягваюцца.
3. Целы з жалеза, сталі і інш. можна намагніціць пры дапамозе магніта.
4. Зямлю можна ўявіць вялікім магнітам, полюсы якога не супадаюць з геаграфічнымі полюсамі.

? Кантрольныя пытанні

1. Як эксперыментальна выявіць полюсы і нейтральную зону магніта?
2. Як узаемадзейнічаюць два магніты?
3. Што агульнага і рознага ў электрычных і магнітных узаемадзеянняў?
4. Як можна атрымаць новы пастаянны магніт?
5. Чаму магчыма арыентацыя на Зямлі пры дапамозе компаса? Ці з'яўляецца яна дакладнай?

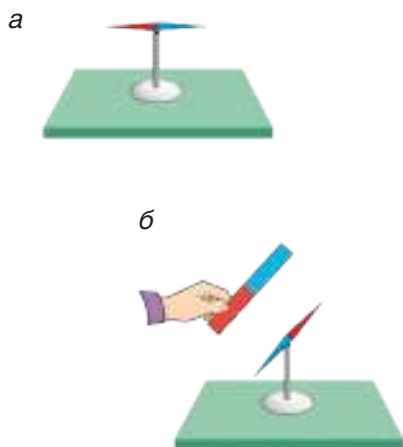
➔ Дамашняе заданне

Падвесьце на нітках на аднолькавай вышыні дзве сталёныя іголки. Паднясіце да іх, не дакранаючыся, пастаянны магніт. Апішыце і растлумачце назіраемую з'яву.

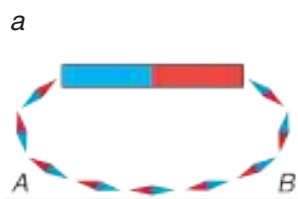


§ 29.

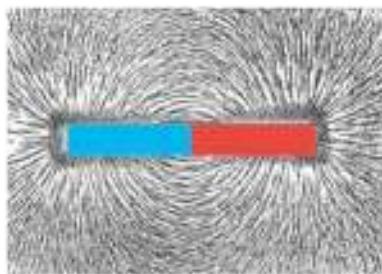
Магнітнае поле



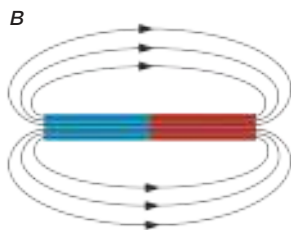
Мал. 186



б



в



Мал. 187

Вам вядома, што целы могуць узаемадзейнічаць на адлегласці без непасрэднага кантакту, г. зн. з дапамогай поля. Вывучаючы электрычныя з'явы, мы гаварылі аб электрычным полі. Яшчэ раней (у 7-м класе) — аб полі прыцяжэння (гравітацыйным полі). Магніты таксама ўзаемадзейнічаюць на адлегласці. Значыць, з любым магнітам звязаны асаблівы стан прасторы — **магнітнае поле**.

Пры вывучэнні любога фізічнага поля важна адказаць на наступныя пытанні. З якім целам або з'явай звязана такое поле? У чым гэта поле сябе праяўляе? З дапамогай якога цела (індыкатара) гэта поле можна выявіць і вывучыць яго ўласцівасці?

Адказ на першае пытанне просты. Магнітнае поле звязана з магнітам. Падобна да іншых фізічных палёў, магнітнае поле не дзейнічае на нашы органы пачуццяў (зроку, слыху, нюху, дотыку). Аднак рэальнасць яго існавання праяўляецца ў пэўным назіраемым дзеянні. Напрыклад, у магнітным полі Зямлі паварочваецца стрэлка компаса.

Магнітная стрэлка (мал. 186, а) і ёсць цела, якое дазваляе выяўляць і вывучаць магнітныя палі, напрыклад поле паласавога магніта (мал. 186, б). Выкарыстаўшы вялікую колькасць маленькіх магнітных стрэлак (мал. 187, а), можна атрымаць наглядную карціну дзеяння магнітнага поля ў прасторы вакол магніта. На практыцы яшчэ больш зручна выкарыстоўваць дробнае жалезнае пілавінне, насыпанае на ліст кардону. У вывучаемым магнітным полі жалезнае пілавінне намагнічваецца і становіцца маленькімі магнітнымі стрэлкамі. Пры малым трэнні аб кардон гэтыя стрэлкі тут жа арыентуюцца (мал. 187, б), малюючы лініі магнітнага поля (мал. 187, в) вывучаемага магніта.

З дапамогай такіх ліній можна паказваць самыя розныя магнітныя палі. Мы ўжо выкарыстоўвалі гэты метада, паказваючы на малюнку 185 магнітнае поле Зямлі.

За напрамак лініі магнітнага поля па дамоўленасці прымаецца напрамак, у якім магнітнае поле арыентуе паўночны полюс магнітнай стрэлкі (гл. мал. 187, а). Звярніце таксама ўвагу на тое, што ў любога магніта ёсць поле і ўнутры яго, а лініі магнітнага поля замкнутыя (гл. мал. 187, в). Згушчанасць ліній унутры магніта паказвае, што там поле найбольш моцнае.

▼ Для дапытлівых

Магнітнае поле Зямлі мае для нас вялікае значэнне. Акрамя прыемнага святла, якое дорыць жыццё ўсяму зямному, Сонца выпраменьвае і вялікія патокі хуткіх зараджаных часціц. У асноўным гэта электроны і пратоны, якія нядобра дзейнічаюць на ўсё жывое. Менавіта дзякуючы свайму магнітнаму полю наша планета ахавана ад іх згубнага дзеяння. Часціцы абгінаюць Зямлю, часткова трапляюць у своеасаблівыя магнітныя пасткі. Толькі малая частка зараджаных часціц можа дасягнуць паверхні планеты, выклікаючы палярнае ззянне (мал. 188) у верхніх пластах атмасферы.



Мал. 188

У магнітным полі Зямлі часам назіраюцца рэзкія непрацяглыя змяненні («магнітныя буры»), звязаныя з працэсамі, якія адбываюцца на Сонцы.

Магнітнымі палямі, хоць і надзвычай слабымі ў параўнанні з магнітным полем Зямлі, валодаюць і бліжэйшыя да нас нябесныя целы (Месяц, Марс, Венера).

■ Галоўныя вывады

1. Рэальнасць існавання магнітнага поля пацвярджаецца яго арыентуючым дзеяннем на магнітную стрэлку.
2. Магнітныя палі паказваюцца графічна ў выглядзе замкнутых ліній.
3. Напрамак ліній магнітнага поля ў кожным пункце поля супадае з напрамкам паўночнага полюса сарыентаванай полем магнітнай стрэлкі.
4. На магнітнае поле Зямлі ўплываюць працэсы, якія адбываюцца на Сонцы.



Кантрольныя пытанні

1. Чым пацвярджаецца матэрыяльнасць магнітнага поля?
2. З дапамогай якіх цел можна вывучыць магнітнае поле?
3. Чаму полюсы магніта называюць паўночным і паўднёвым?
4. Што такое лініі магнітнага поля? Што прынята за напрамак гэтых ліній?
5. З якога полюса пастаяннага магніта выходзяць лініі магнітнага поля?
У які ўваходзяць?

Практыкаванне 19

1. Вызначыце полюсы невядомых магнітаў у магнітных ланцугах, паказаных на малюнку 189, а, б.

2. Ці правільнае сцверджанне, што стрэлка компаса паказвае дакладны напрамак на географічную поўнач?

3. Навошта пры навуковых даследаваннях магнітнага поля Зямлі разам з кампасам выкарыстоўваюць прыбор, у якім стрэлка можа паварочвацца вакол гарызантальнай восі (інклінатар)?

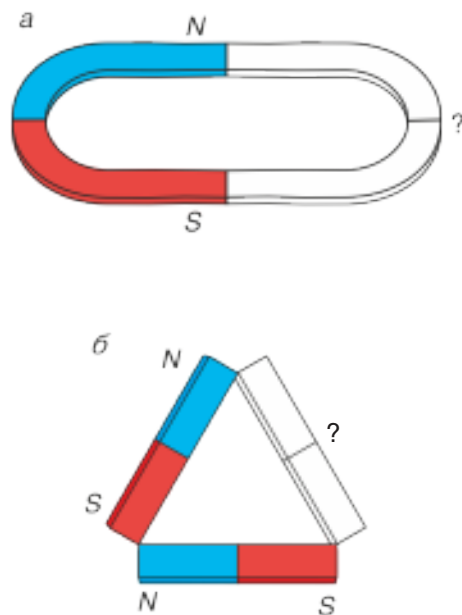
4. Як можна вызначыць, ці намагнічаны жалезны стрыжань: а) пры дапамозе компаса; б) пры дапамозе ніткі?

5. Як, не выкарыстоўваючы іншых прадметаў, вызначыць, якое з двух нажовачных палотнаў намагнічана, а якое — не?

6. Дакажыце, што лініі магнітнага поля не могуць перасякацца.

7. Чаму ненамагнічаны кавалак сталі прыцягваецца да любога полюса магніта?

8. Як з дапамогай саміх стрыжняў вызначыць, якія з трох сталёвых стрыжняў намагнічаны, калі вядома, што намагнічаны толькі два?



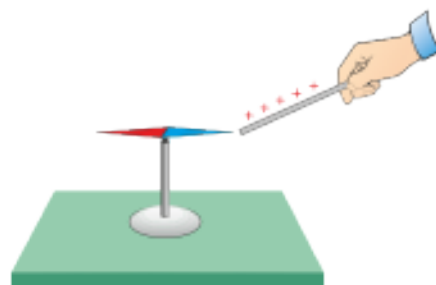
Мал. 189



§ 30.

Магнітнае поле току

Паднясём да магнітнай стрэлкі наэлектрызаваную шкляную палачку (мал. 190). Да палачкі прыцягнецца бліжні канец стрэлкі незалежна ад таго, паўночны ён ці паўднёвы. Гэтак жа будзе паводзіць сябе і цалкам размагнічаная стрэлка. Тлумачэнне гэтаму простае — назіраецца вядомая вам электрызацыя праз уплыў (гл. § 14, мал. 102). Магнетызм жа стрэлкі не мае ніякага значэння. Ці значыць гэта, што сувязь паміж магнетызмам і электрычнасцю адсутнічае? Вядома, не. Паміж магнетызмам і электрычнасцю існуе самая цесная сувязь.

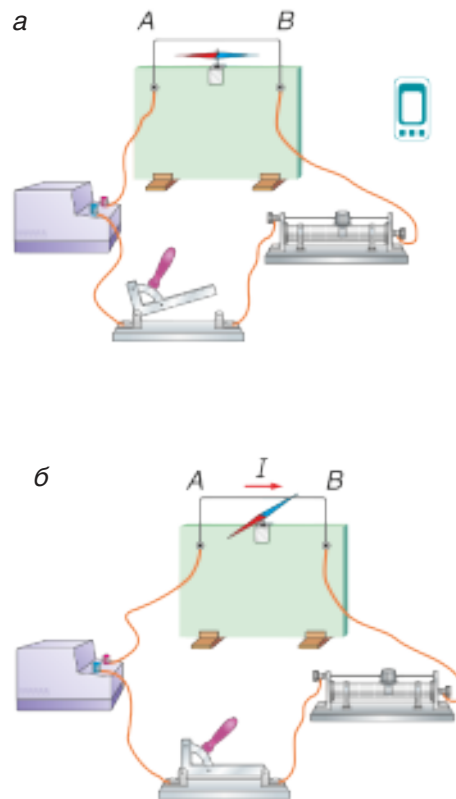


Мал. 190

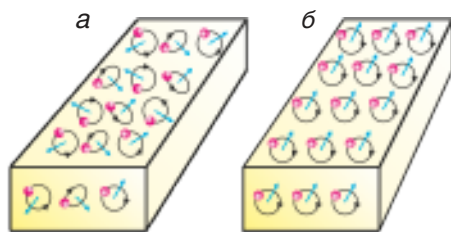
Размесцім па магнітным мерыдыяне (г. зн. па напрамку стрэлкі компаса) праваднік AB (мал. 191, а), пад якім знаходзіцца магнітная стрэлка. Уключым ток. Стрэлка паварочваецца і ўстанаўліваецца перпендыкулярна да правадніка AB (мал. 191, б). Паварот стрэлкі паказвае на з'яўленне магнітнага поля вакол правадніка з токам. Зменім напрамак току ў правадніку AB на процілеглы. Стрэлка паварочваецца і ўстанаўліваецца перпендыкулярна да правадніка, але ў процілеглым напрамку.

Гэты прасты дослед, праведзены ў 1820 г. дацкім вучоным Г. Х. Эрстэдам, дазволіў зрабіць надзвычай важны вывад. Магнітнае поле ствараецца не толькі пастаянным магнітам. Яно ўзнікае і пры руху электрычных зарадаў. Сапраўды, ток у правадніку ёсць іх накіраваны рух.

Вялікі ўклад у вывучэнне электрамагнетызму ўнёс французскі вучоны А. М. Ампер (гл. форзац 1). Ён выказаў думку аб тым, што рухам зараджаных часціц тлумачыцца магнетызм усіх пастаянных магнітаў, уключаючы Зямлю. Паводле гіпотэзы Ампера, у целах з жалеза, сталі і інш. пастаянна праходзіць мноства замкнутых кругавых токаў. Кожны такі ток стварае слабае



Мал. 191



Мал. 192

магнітнае поле, г. зн. у цэлае заўсёды ёсць мноства надзвычай малых элементарных магнітаў. У ненамагнічаным цэлае элементарныя магніты размешчаны хаатычна (мал. 192, а), і іх палі кампенсуюць адно аднаго. Магнітнае поле ў такога цэла адсутнічае. Пры намагнічванні цэла элементарныя магніты арыентуюцца ў адным напрамку (мал. 192, б), цэла становіцца магнітам. Падобныя кругавыя токі праходзяць, на думку Ампера, і ўнутры Зямлі.

Ампер не мог растлумачыць прыроду ўведзеных ім кругавых токаў. Бо ў тую пару (першая палова XIX ст.) вучоныя не ведалі будовы атама. Кругавым токам, які стварае элементарнае магнітнае поле, можна лічыць кожны электрон, які рухаецца вакол ядра атама.

Заслуга Ампера ў тым, што ён першы звязаў магнітныя палі пастаянных магнітаў і Зямлі з рухам электрычных зарадаў у гэтых цэлах. Для стварэння магнітнага поля важны не сам праваднік, а ток, які праходзіць у ім. Даўно заўважана, што ў выніку навальнічных разрадаў часта намагнічваліся сталёныя целы: нажніцы, спіцы, косы і г. д. Прапануем вам самастойна растлумачыць гэту з'яву.

Галоўныя вывады

1. Нерухомыя электрычныя зарады не аказваюць магнітнага дзеяння.
2. Магнітнае поле ствараецца электрычным токам.
3. Магнетызм пастаянных магнітаў звязаны з рухам электрычных зарадаў.

? Кантрольныя пытанні

1. Як узаемадзеянне стрэлка компаса з наэлектрызаванай эбанітавай і шкляной палачкамі? Якія вывады можна з гэтага зрабіць?
2. Чым, згодна з гіпотэзай Ампера, адрозніваюцца намагнічанае і ненамагнічанае целы?
3. Як узаемадзеянне стрэлка компаса з наэлектрызаваным жалезным цэлам (цвіком)?



§ 31.

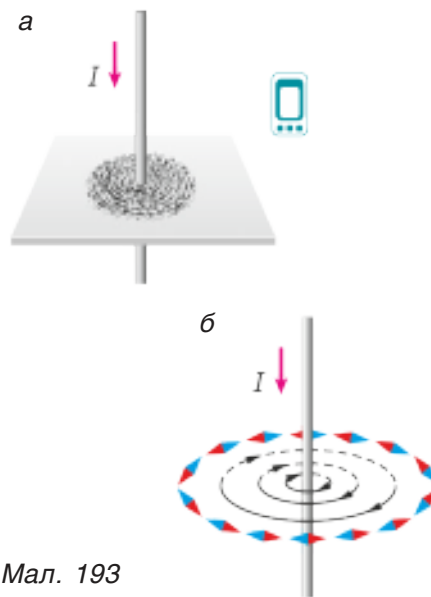
Магнітнае поле прамога правадніка і шпулі з токам. Электрамагніт

Магнітнае поле існуе вакол любога правадніка з токам. Але праваднікі могуць мець розныя формы, і ток у іх можа мець розную сілу. Чым жа адрозніваюцца палі такіх праваднікоў? Як можна ўзмацніць ствараемае токам магнітнае поле?

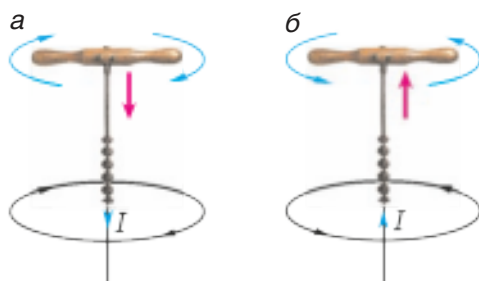
Для вивучэння магнітнага поля **прамога правадніка** з токам насыпем жалезнае пілавінне на кардонны ліст, размешчаны перпендыкулярна да правадніка (мал. 193, а). Мы бачым, што пілавінне размяшчаецца па акружнасцях, цэнтрам якіх з'яўляецца праваднік з токам. Размяшчаючы каля правадніка магнітныя стрэлкі, можна вызначыць напрамак ліній магнітнага поля (мал. 193, б). Не забывайце: у кожным пункце поля гэта напрамак паўночнага (N) полюса магнітнай стрэлкі!

Для вызначэння напрамку ліній магнітнага поля выкарыстоўваюць *правіла свярдзёлка*, або *правай шрубы*: вярціце ручку свярдзёлка (галоўку шрубы з правай нарэзкай) так, каб яго вастрыё рухалася па напрамку току ў правадніку: уніз на малюнку 194, а і ўверх на малюнку 194, б. Напрамак вярчэння ручкі свярдзёлка пакажа напрамак ліній поля.

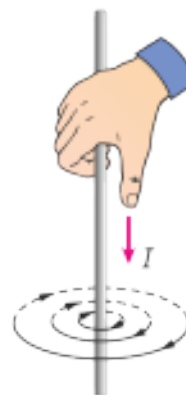
Напрамак ліній магнітнага поля можна вызначыць яшчэ прасцей, з дапамогай **правай рукі**: калі праваднік з токам абхапіць далонню правай рукі так, каб адстаўлены вялікі палец быў накіраваны па току (мал. 195), то сагнутыя чатыры пальцы пакажуць напрамак ліній магнітнага поля.



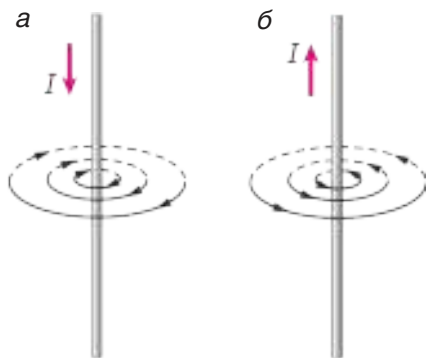
Мал. 193



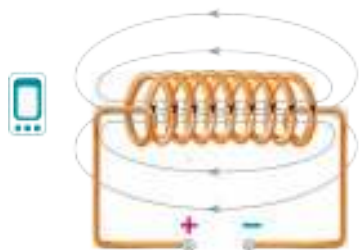
Мал. 194



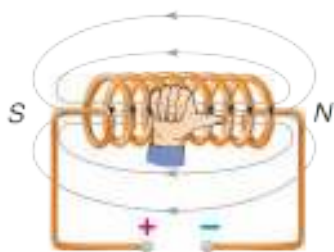
Мал. 195



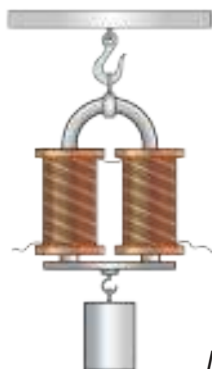
Мал. 196



Мал. 197



Мал. 198



Мал. 199

На малюнку 196, *а, б* паказаны напрамак ліній магнітнага поля двух праваднікоў, у якіх ток праходзіць у процілеглых напрамках. Пацвердзіце правільнасць пазначаных напрамкаў, выкарыстаўшы правую руку.

Пры дапамозе жалезнага пілавіння можна атрымаць і карціну ліній магнітнага поля шпулі з токам — саленоіда (мал. 197).

На малюнку 197 бачна, што створанае шпуляй з токам магнітнае поле падобна да поля звычайнага паласавога магніта. Размешчаныя паралельна ўнутры шпулі лініі магнітнага поля выходзяць з аднаго яе канца і, абгінаючы яе, уваходзяць у другі канец. Такім чынам, па сутнасці, саленоід з'яўляецца **электрамагнітам**. Напрамак ліній магнітнага поля тут таксама вызначаюць па правіле свярдзёлка або з дапамогай правай рукі, але толькі для саленоіда (мал. 198): калі далонню правай рукі абхапіць шпулю з токам так, каб чатыры пальцы размясціліся па напрамку току, то адстаўлены вялікі палец пакажа напрамак ліній магнітнага поля ўнутры шпулі.

Для ўзмацнення поля электрамагніта аднайменныя полюсы магнітаў збліжаюць, а ўнутр шпулі ўстаўляюць стрыжань з мяккага жалеза або спецыяльнай сталі (мал. 199). Гэтыя матэрыялы, намагнічваючыся ў магнітным полі шпулі, у дзясяткі і нават сотні разоў узмацняюць яго, дазваляючы атрымаць электрамагніты з вялікай пад'ёмнай сілай. Электрамагніт, паказаны на малюнку 199, нават пры невялікай сіле току ў шпулях можа ўтрымаць груз масай у дзясяткі кілаграмаў, што недаступна ніякаму пастаяннаму магніту.

Электрамагніты, якія выкарыстоўваюцца на прадпрыемствах, здольны ўтрымліваць і перамяшчаць тоны металічнага грузу (мал. 200).

Ствараемае саленоідам магнітнае поле выкарыстоўваецца ў электравымяральных прыборах (амперметрах, вальтметрах), электразванках,

электрагітары. Па дзве шпулі з токам мае **электралічальнік** (мал. 201) і **ватметр** — прыбор, які вымярае магутнасць электрычнага току. Ток, які праходзіць па абмотках складанай канфігурацыі, стварае магнітнае поле, неабходнае для работы любога электрарухавіка (мал. 202).



Мал. 200



Мал. 201



Мал. 202

Галоўныя вывады

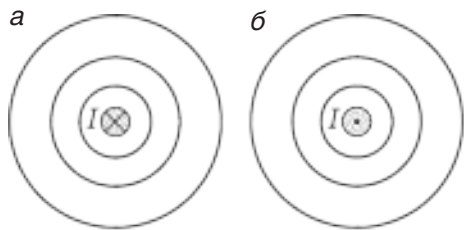
1. Лініі магнітнага поля не маюць пачатку і канца. Яны замкнутыя.
2. Напрамак ліній магнітнага поля можна вызначыць пры дапамозе стрэлкі компаса, правай рукі або па правіле свярдзёлка.
3. Магнітнае поле шпулі з токам падобна да поля паласавога магніта.
4. Поле электрамагніта можна ўзмацніць выкарыстаннем жалезнага або стальнага стрыжня і збліжэннем аднайменных полюсаў.

? Кантрольныя пытанні

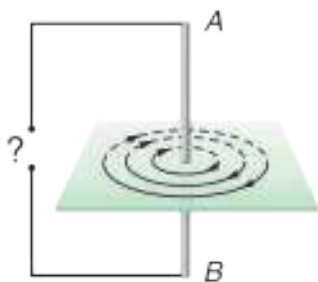
1. Якімі спосабамі можна атрымаць карціну ліній магнітнага поля розных праваднікоў?
2. Як можна вызначыць напрамак ліній магнітнага поля, створанага правадніком з токам?
3. Як з дапамогай правай рукі вызначыць напрамак ліній магнітнага поля: а) прамога правадніка з токам; б) шпулі з токам?
4. Як можна ўзмацніць магнітнае поле электрамагніта?
5. Дзе прымяняюцца шпулі з токам?
6. Ці можна называць электрамагнітам прамы праваднік з токам? Чаму?

→ Дамашняе заданне

Вазьміце некалькі жалезных цвікоў, кавалак жалезнага дроту, крыніцу току, сашчэпкі. Вырабіце электрамагніт. Апішыце яго дзеянне. Вызначыце яго пад'ёмную сілу.



Мал. 203



Мал. 204

Практыкаванне 20

1. Вызначыце напрамак ліній магнітнага поля прамога правадніка з токам I , размешчанага перпендыкулярна да плоскасці чарцяжа, калі ток I накіраваны ад нас (мал. 203, а) і да нас (мал. 203, б).

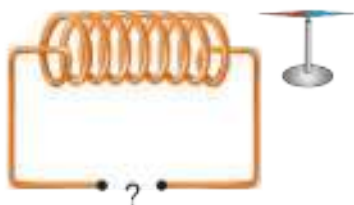
2. Як, выкарыстаўшы компас, вызначыць палярнасць клем невядомай крыніцы току?

3. Вызначыце палярнасць клем крыніцы, якая стварае ток у прамым правадніку (мал. 204) і ў шпулі (мал. 205).

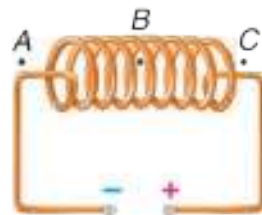
4. Як будзе сарыентавана магнітная стрэлка, змешчаная ў пункты А, С і В (мал. 206)?

5. Як вырабіць шпулю, якая не стварае магнітнага поля нават пры значнай сіле току ў ёй?

6. Ці будзе працаваць электрамагніт, калі па дротце шпулі будзе праходзіць пераменны ток?



Мал. 205



Мал. 206



Тэмы практных заданняў па раздзеле «Электрамагнітныя з'явы»

1. Уплыў электрамагнітных палёў на жывыя арганізмы.
2. Лямпа напальвання і энергазберагальная: вартасці і недахопы.
3. Электраправоднасць агародніны і садавіны.
4. ККДз электрачайніка і шляхі яго павышэння.
5. Электрычнасць і медыцына.
6. Шляхі эканомнага расходавання электраэнергіі ў хатніх умовах.



З

Светлавые з'явы



- Ці можа чалавек апыярэдыць свой цень?
- Чаму відарыс у люстры можна назваць аптычным прывідам?
- Чаму акулеры блізарукага чалавека не падыходзяць дальнозоркаму?



Хто з нас не адчуваў захаплення ад навагодняй ёлкі, якая ззяе рознакаляровымі агнямі (мал. 207)? А ад цуду прыроды — палярнага ззяння (гл. мал. 188)?

Святло зачароўвае чалавека, дае магчымасць яму лепш зразумець навакольны свет. Аднак роля святла не зводзіцца толькі да атрымання інфармацыі пра з'явы прыроды.

Само святло выклікае розныя з'явы: хімічную рэакцыю (на гэтым заснавана фатаграфія, а таксама фотасінтэз і інш.), электрычны ток (гэта з'ява ляжыць у аснове работы сонечных батарэй, асабліва важных для касмічных палётаў) і г. д. Без святла немагчыма само жыццё на Зямлі.

*Што ж такое святло? Пытанне аб прыродзе святла з'яўляецца адным з найбольш складаных. Раздзел фізікі, які вывучае ўласцівасці святла, называецца **оптыкай**.*



Мал. 207



§ 32.

Крыніцы святла



Мал. 208



Мал. 209

Старажытныя грэкі лічылі святло асаблівым рэчывам, якое выцякала з вачэй. Паводле гэтых меркаванняў, чалавек бачыць целы, абмацваючы іх накіраваным патокам гэтага рэчыва. Але тады чаму ноччу чалавек не бачыць? Адказаць на гэта пытанне было немагчыма. Пазней І. Ньютан прапанаваў гіпотэзу: святло — гэта паток часціц (карпускул), якія выпраменьваюцца целам, што свеціцца. Карпускулярная тэорыя тлумачыла магчымасць бачыць прадмет пападаннем у вока часціц, якія выпраменьваюцца гэтым прадметам. Гэта тэорыя добра тлумачыла ўтварэнне ценю за непразрыстым целам. Аднак і яна не магла растлумачыць многія з'явы, напрыклад, такія як інтэрферэнцыя, дыфракцыя (пра іх вы даведаецеся ў старшых класах).

Усе целы, якія выпраменьваюць святло, называюцца **крыніцамі святла**. Да іх адносяцца Сонца і іншыя зоркі, запаленыя свечкі (мал. 208), лампачкі, вогнішчы (мал. 209). Гэта цеплавая крыніца святла.

Крыніцамі святла з'яўляюцца розныя арганізмы, што свецяцца: рачкі, рыбы (мал. 210), жукі, грыбы (мал. 211). Іх называюць крыніцамі **халоднага** свячэння.

Існуе шмат рэчываў, якія становяцца крыніцамі святла толькі пасля таго, як праз іх прапускаць святло. Такія рэчывы называюцца **фоталюмінафорамі**, а іх свячэнне — **фоталюмінесцэнцыяй**.

Разгледзім дослед. Растворым у вадзе крыху флуарэсцэіну (мал. 212, а) і прапусцім праз раствор пучок белага святла. Раствор пачне свяціцца зялёным святлом (мал. 212, б).

Здольнасць рэчываў свяціцца пры іх апраменьванні выкарыстоўваюць у рэкламе (мал. 213). У навагоднюю ноч вы назіралі, як свецяцца ёлачныя цацкі, пакрытыя такімі рэчывамі. Дарожныя знакі (мал. 214), у фарбу якіх дабаўлены люмінафор, пры апраменьванні святлом фар свецяцца і добра бачны вадзіцелю. Гэта робіць рух на дарозе бяспечным.

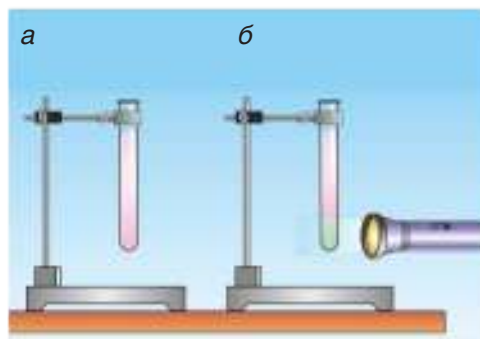
Унікальнай крыніцай святла з'яўляецца лазер, які знайшоў эфектыўнае практычнае прымяненне ў тэлебачанні, сувязі, медыцыне (мал. 215), машына- і прыборабудаванні, метралогіі. Менавіта лазер дазволіў адказаць на пытанне: «Колькі сантыметраў (заўважце, не кіламетраў, а сантыметраў) ад Зямлі да Месяца?». Лазерны гадзіннік дае памылку ў 1 с за 300 млн гадоў. Заўважым, што вялікі ўклад у развіццё лазераў унёс беларускі вучоны Б. І. Сцяпанаў.



Мал. 210



Мал. 211



Мал. 212



Мал. 213



Мал. 214



Мал. 215



Мал. 216



Мал. 217



Мал. 218



Мал. 219



Мал. 220

Большасць цел, якія мы бачым, не выпраменьваюць, а адбіваюць святло, што падае на іх. Такімі цэламі з'яўляюцца Месяц, дрэвы, будынкі (мал. 216), людзі, флікеры і г. д.

Адзначым, што ва ўсіх крыніцах святла ў светлавую энергію ператвараецца які-небудзь від энергіі: цеплавая, хімічная, электрычная, светлавая (успомніце свячэнне раствору флуарэсцэіну) і г. д.

Крыніцы выпраменьвання могуць даваць і нябачныя прамені. Усе вы, вядома, чулі пра ўльтрафіялетавыя прамені. Нябачнымі праменьнямі пераносіцца энергія ад цэла да цэла пры цеплаперадачы выпраменьваннем (гл. § 5). Аднак у гэтым дапаможніку мы будзем разглядаць толькі **бачнае выпраменьванне** крыніц святла, інакш кажучы, святло, якое, пападаючы ў вока, выклікае зрокавыя адчуванні. Гэта белае святло і складаючыя яго колеры ад чырвонага да фіялетавага (мал. 217). Усе колеры адначасова можна назіраць у вясёлцы.

Калі памеры крыніцы святла ў дадзеных умовах можна не ўлічваць, то яе называюць **кропкавай**. Кропкавымі крыніцамі святла для нас, напрыклад, з'яўляюцца зоркі, лампы вулічнага асвятлення і інш.

Паглядзіце на малюнак 218. Полымя свечкі ў адносінах да экрана 2 можна лічыць кропкавай крыніцай святла, але нельга прыняць за кропкавую ў адносінах да экрана 1. Растлумачце самі прычыну гэтага. У далейшым кропкавыя крыніцы святла мы будзем абазначаць літарай *S*.

Любая кропкавая крыніца выпраменьвае святло па ўсіх напрамках (мал. 219). Надзенем на электрычную лямпачку, што гарыць, каўпак, які мае невялікую адтуліну (мал. 220). З адтуліны выходзіць вузкі пучок святла. **Лінія, уздоўж якой распаўсюджваецца святло, называецца светлавым праменем.** Чым меншая адтуліна, тым у большай ступені пучок святла можна мадэліраваць праменем.

▼ Для дапытлівых

Нішто ў прыродзе не было такім няўлоўным, ні адзін свой сакрэт прырода не ахоўвала так старанна, як сакрэт пра тое, што такое святло. Невыпадкава святло часта называлі самай цёмнай плямай у фізіцы. Ужо сам факт існавання святла выклікае шэраг непазбежных пытанняў. Напрыклад, ці мае святло вагу? Ці займае яно аб'ём? Ці цісне святло на цела пры падзенні на яго? Гарачае або халоднае святло? Як хутка яно распаўсюджваецца? Чаму святло не можа прайсці праз тонкі ліст кардону, у той жа час яно лёгка праходзіць праз тоўстае шкло? І шэраг іншых пытанняў, на якія мы будзем шукаць адказы, вывучаючы фізіку.

■ Галоўныя вывады

1. Крыніцы святла — гэта целы, якія выпраменьваюць святло.
2. Крыніца святла называецца кропкавай, калі яе памеры ва ўмовах дадзенай задачы можна не ўлічваць.
3. Большасць цел вакол нас мы бачым дзякуючы адбітаму святлу.
4. Прамень святла — гэта лінія, уздоўж якой распаўсюджваецца святло.

? Кантрольныя пытанні

1. Што такое крыніца святла?
2. Якія крыніцы святла называюць цеплавымі? Прывядзіце прыклады.
3. Калі крыніцу святла можна лічыць кропкавай? Прывядзіце прыклады.
4. Які від энергіі ператвараецца ў светлавую ў крыніцах святла: лампачцы ліхтарыка; рачках, якія свецяцца?
5. Што такое прамень святла?

➔ Дамашняе заданне

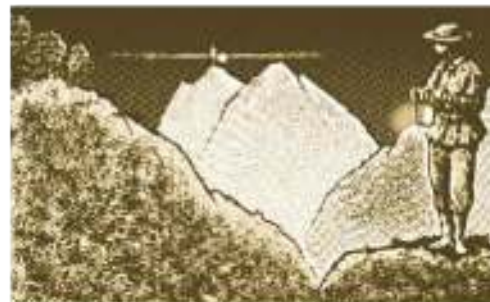
Вазьміце кардонную каробку, зрабіце ў ёй некалькі адтулін рознага дыяметра і пакажыце, з якой адтуліны выходзіць светлавая пучок, які можна назваць праменем. У якасці крыніцы святла можна выкарыстоўваць мабільны тэлефон.



§ 33.

Скорасць святла. Прамалінейнасць распаўсюджвання святла

Вымераць скорасць святла вучоныя спрабавалі даўно. Напрыклад, Галілей праводзіў такі дослед. На вяршыні аднаго з узгоркаў (мал. 221) знаходзіўся з ліхтаром яго асістэнт, на вяршыні другога ўзгорка — ён сам. Асістэнт павінен быў зняць накрыўку са свайго запаленага ліхтара ў той момант, калі ўбачыць успышкі святла ліхтара Галілея. Вымераўшы прамежак часу паміж успышкай свайго ліхтара і ўспышкай святла ліхтара асістэнта, а таксама ведаючы адлегласць паміж узгоркамі, Галілей спрабаваў вызначыць скорасць святла. Аднак вымяраемы прамежак часу быў такі малы, што Галілей разглядаў яго толькі як час рэакцыі чалавека. Скорасць жа святла ён лічыў бясконца вялікай.



Мал. 221

Як паказалі наступныя вымярэнні, скорасць святла мае канечную велічыню. Упершыню яе значэнне змог вызначыць у 1676 г. дацкі астраном О. Ромер. Шматразова назіраючы за рухам аднаго са спадарожнікаў Юпітэра (Io), Ромер выявіў розніцу паміж разлічаным і назіраемым часам яго зацымнення. Па даных назіранняў, ён атрымаў значэнне скорасці святла, роўнае $215\,000 \frac{\text{км}}{\text{с}}$.

Пасля Ромера скорасць святла вымяралі неаднаразова ўсё больш дасканалымі метадамі. Больш дакладныя вынікі былі атрыманы ў доследах амерыканскага вучонага А. Майкельсана. З імі вы пазнаёміцеся ў 11-м класе. Гэта значэнне скорасці святла было роўна $299\,700 \frac{\text{км}}{\text{с}}$. Прынятае ў цяперашні час значэнне скорасці святла ў вакууме (пустаце) роўна $c = 299\,792\,458 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Калі не патрабуецца асабліва дакладнасць, то значэнне скорасці акругляецца да $c = 300\,000\,000 \frac{\text{м}}{\text{с}} = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

Скорасць святла ў вакууме з'яўляецца максімальнай. Скорасць святла ў паветры, як паказалі доследы, адрозніваецца ад гэтага значэння зусім нязначна. У іншых празрыстых асяроддзях скорасць святла меншая, чым у паветры, напрыклад:

$$\begin{aligned} \text{у вадзе } v_{\text{в}} &\approx 2,25 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}; & \text{у шкiпiнары } v_{\text{шкiп}} &\approx 2,04 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}; \\ \text{у шкле } v_{\text{шк}} &\approx 2,00 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}; & \text{у алмазе } v_{\text{ал}} &\approx 1,24 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}. \end{aligned}$$

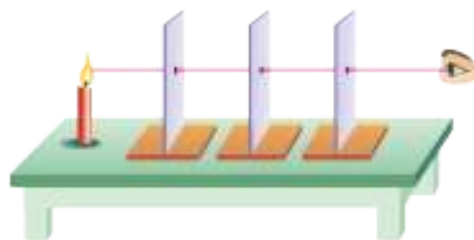
Аб асяроддзі, у якім святло распаўсюджваецца з **меншай скорасцю**, гавораць як аб **аптычна больш шчыльным** і, наадварот, аб асяроддзі, у якім святло распаўсюджваецца **хутчэй**, — як аб **аптычна менш шчыльным**. Звярніце ўвагу, што словы «больш (менш) шчыльны» *не звязаны са шчыльнасцю ρ рэчыва*, у якім распаўсюджваецца святло. Так, напрыклад, у шкiпiнары, шчыльнасць якога $\rho = 855 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ меншая за шчыльнасць вады $\rho = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, святло распаўсюджваецца павольней, чым у вадзе, — значыць, шкiпiнар з'яўляецца аптычна больш шчыльным, чым вада, асяроддзем.

А як распаўсюджваецца святло? Правядзём дослед. Паставім на сталае тры экраны з адтулінамі (мал. 222). Запалім свечку або электралямпачку і паспрабуем, перамяшчаючы экраны, убачыць святло праз адтуліны ў іх. Затым возьмем тонкі прамы стрыжань і ўставім яго ў адтуліны. Мы ўбачым, што стрыжань праходзіць праз усе адтуліны. Значыць, яны размешчаны на адной прамой. А цяпер зрушым адзін экран. Святло ў вока больш не пападае. Гэта сведчыць аб тым, што святло распаўсюджваецца **прамалінейна**.

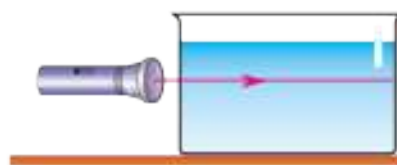
У доследзе асяроддзем, у якім распаўсюджвалася святло, было паветра. А калі ўзяць іншае асяроддзе, напрыклад ваду, то як у ёй будзе распаўсюджвацца святло? Правядзём дослед. У шкляную пасудзіну нальём ваду і дададзім крыху малака, каб прамень стаў бачным. Ліхтар або лазерную ўказку, ад якіх ідзе пучок святла, паднясём да сценкі пасудзіны (мал. 223). Мы ўбачым у вадзе прамую лінію, якая свеціцца. Яна ўтворана святлом, якое адбіваецца ад часцінак малака. Значыць, і ў вадзе святло распаўсюджваецца прамалінейна. І паветра, і вада маюць па ўсім аб'ёме аднолькавыя фізічныя ўласцівасці, таму з'яўляюцца **аднароднымі асяроддзямі**.

Цяпер можна сфармуляваць закон: **у аднародным асяроддзі святло распаўсюджваецца прамалінейна**.

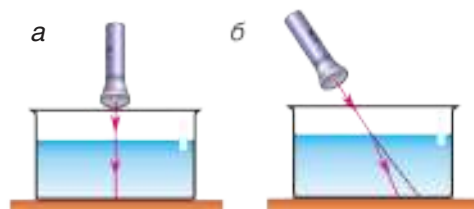
А калі асяроддзе неаднароднае (складаецца з некалькіх розных аднародных асяроддзяў)? Тады гэты закон выконваецца толькі ў выпадку, калі светлавая прамень падае перпендыкулярна да паверхні асяроддзя (мал. 224, а). Ва ўсіх іншых



Мал. 222



Мал. 223



Мал. 224



Мал. 225

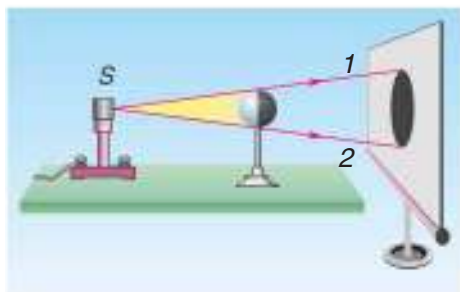
выпадках пры пераходзе з аднаго асяроддзя ў другое святло змяняе свой напрамак (мал. 224, б).

З неаднароднасцю асяроддзя звязана скрыўленне праменяў, якое прыводзіць да ўтварэння міражоў (мал. 225). Неаднароднасць асяроддзя ёсць вынік рознай тэмпературы суседніх слаёў паветра.

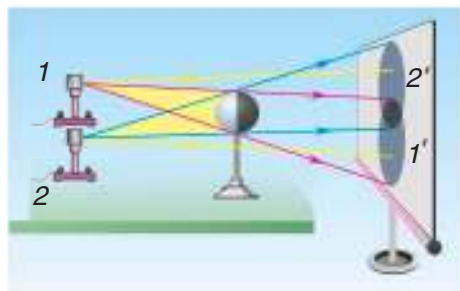
Прамалінейнасцю распаўсюджвання святла тлумачацца многія з'явы, напрыклад утварэнне ценю і паўценю. Возьмем мініяцюрную электралампочку, мячык і экран. Размесцім іх, як паказана на малюнку 226. У вобласць усечанага конуса паміж прамянімі 1 і 2 святло не пападае. На экране мы бачым выразна акрэслены цень.

А цяпер асветлім мячык дзвюма лампочкамі (мал. 227). На экране мы ўбачым цень, г. зн. вобласць, куды не пападае святло ні ад лампачкі 1, ні ад лампачкі 2, і паўцені (вобласці 1' і 2'). У вобласці 1' і 2' не пападае святло толькі ад адной лампачкі.

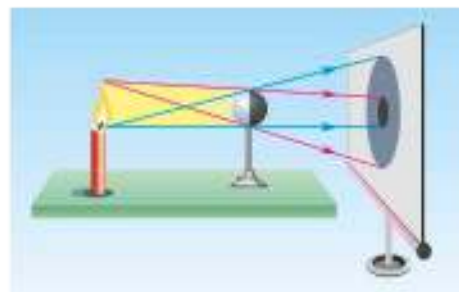
Цень і паўцень можна атрымаць і ад адной крыніцы, калі яна не з'яўляецца пунктавай (мал. 228).



Мал. 226



Мал. 227



Мал. 228



Для дапытлівых

Утварэннем ценю і паўценю можна растлумачыць сонечныя і месячныя зацьменні. Калі Месяц аказваецца паміж Зямлёй і Сонцам, на паверхню Зямлі ў вобласць 2 сонечныя прамені не пападаюць і жыхары гэтай мясцовасці становяцца сведкамі поўнага сонечнага зацьмення (мал. 229). У вобласці 1 і 3 святло пападае часткова, гэта вобласці паўценю. Жыхары гэтых мясцін будуць бачыць тую частку Сонца, ад якой у дадзеную вобласць пападае святло.



Мал. 229

Галоўныя вывады

1. Скорасць святла ў вакууме прыкладна роўна $300\,000 \frac{\text{км}}{\text{с}}$.
2. Скорасць святла ў празрыстых вадкіх і цвёрдых асяроддзях меншая за скорасць святла ў паветры.
3. Чым меншая скорасць святла ў асяроддзі, тым асяроддзе аптычна больш шчыльнае.
4. У аднародных празрыстых асяроддзях святло распаўсюджваецца прамалінейна.

? Кантрольныя пытанні

1. Чаму так доўга не маглі вымераць скорасць святла?
2. Чаму роўна максімальнае значэнне скорасці святла?
3. У чым сутнасць закону прамалінейнага распаўсюджвання святла?
4. Чым тлумачыцца ўтварэнне ценю і паўценю?

Практыкаванне 21

1. Ці можна, маючы крыніцу святла, экран і непразрысты прадмет, атрымаць: а) толькі цень; б) цень і паўцень; в) толькі паўцень? Як гэта зрабіць?

2. Колькі часу ідзе святло ад Сонца да Зямлі, калі адлегласць паміж імі $l = 1,49 \cdot 10^8$ км?

3. Чаму астраномы гавораць: «Мы вывучаем мінулае зорак»?

4. На якой вышыні над паверхняй вады ў басейне глыбінёй $h = 3,9$ м трэба павесіць лямпачку, каб святло ад яе ішло ў паветры і вадзе аднолькавы час?

5. Чаму рукі хірурга, якія асвятляюцца зверху святільнікамі (мал. 230), не даюць на «аперацыйным полі» цень, які мог бы перашкаджаць правядзенню аперацыі?



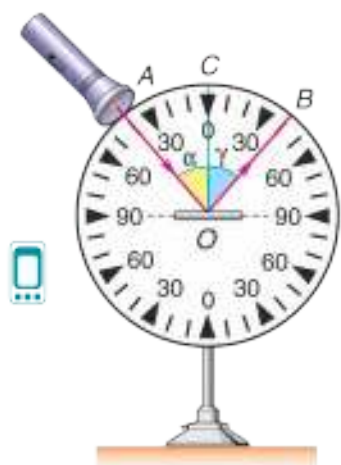
Мал. 230



§ 34.

Адбіццё святла

Ці можам мы ўбачыць адзін аднаго цёмнай ноччу? А калі мы наблізімся да ліхтара, які свеціць? Менавіта дзякуючы адбіццю святла мы бачым прадметы, адрозніваем колер адзення, любуемся карцінай мастака. Вядома, што святло адбіваецца ад самых розных прадметаў. Напрыклад, і ад белай сцяны, і ад люстра. Але чаму толькі ў люстры мы бачым свой відарыс? І чаму мы пры гэтым амаль не бачым самога люстра і ў краме можам памылкова працягнуць руку не да яблыка, а да яго відарыса ў люстраной вітрыне?



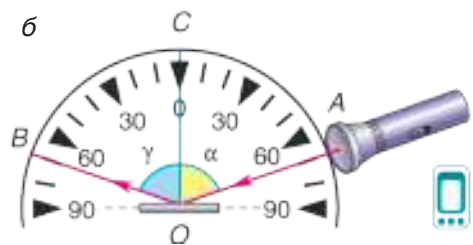
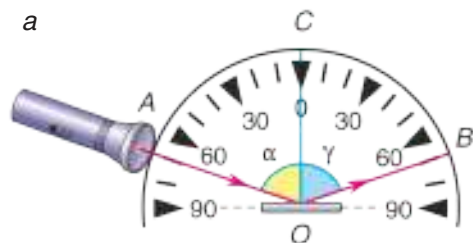
Мал. 231

Якім бывае адбіццё святла? Якімі законамі яно апісваецца? Правядзём дослед. На аптычным дыску (мал. 231), які ўяўляе сабой круг з дзяленнямі, замацуем люстра. Накіруем з асвятляльніка (лямпачкі ў футляры з адтулінай) на люстра пучок святла (прамень AO).

Ад люстра (гладкай адпаліраванай паверхні) светлавы прамень AO практычна цалкам адаб'ецца (прамень OB). Апусцім у пункт падзення праменя AO перпендыкуляр CO да паверхні люстра. Вугал паміж падаючым праменем і перпендыкулярам, праведзеным у пункт падзення, называецца вуглом падзення. Абазначым гэты вугал літарай α .

Вугал, утвораны адбітым праменем і тым жа перпендыкулярам, называецца вуглом адбіцця. Абазначым яго літарай γ . А цяпер параўнаем гэтыя вуглы. З доследу бачна, што **вуглы адбіцця і падзення роўныя**:

$$\gamma = \alpha.$$



Мал. 232

Павялічым вугал падзення α , павярнуўшы асвятляльнік улева. Вугал адбіцця γ таксама павялічыцца (мал. 232, а). Але як і раней $\gamma = \alpha$.

Тое, што мы на аптычным дыску бачым не толькі падаючы прамень, але і адбіты, гаворыць аб тым, што яны абодва ляжаць у адной плоскасці — плоскасці дыска.

На падставе вынікаў доследу можна сфармуляваць законы адбіцця святла.

1. Прамень падаючы, прамень адбіты і перпендыкуляр да адбіваючай паверхні, праведзены ў пункт падзення, ляжаць у адной плоскасці.

2. Вугал адбіцця роўны вуглу падзення.

А цяпер па напрамку адбітага праменя (гл. мал. 232, а) пусцім прамень святла ад асвятляльнага (мал. 232, б). Ён адаб'ецца ад люстра і пойдзе па напрамку, па якім у папярэднім доследзе ішоў падаючы прамень. Прамені і вуглы памяняліся месцамі. Гэту ўласцівасць адбітага і падаючага праменяў называюць *абарачальнасцю* (або *ўзаемнасцю*) светлавых праменяў.

Ці аднолькава адбіваюць святло розныя паверхні?

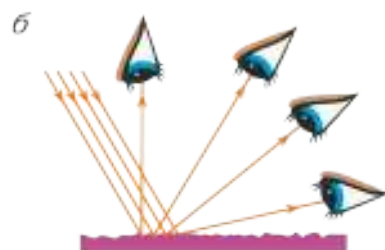
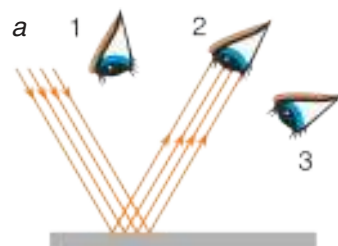
Няхай на паверхню люстра падаюць накіраваныя прамені святла. Пасля адбіцця ад яго святло пападае ў вока толькі тады, калі вока знаходзіцца ў становішчы 2 (мал. 233, а). Калі яно будзе знаходзіцца ў становішчах 1 або 3, адбітыя прамені ў вока не пападуць. У гэтым асаблівасць люстраў. Люстра адбівае святло паверхня вады (мал. 234).

А калі паверхня шурпатая? Накіраваныя прамені святла адбіваюцца ў розных напрамках (мал. 233, б). Такое адбіццё называецца *дыфузным* (часам гавораць: *рассеянае* адбіццё).

У выпадку дыфузнага адбіцця паверхня бачна пры любым становішчы вока, паколькі ў яго трапляюць адбітыя прамені. Шурпатымі паверхнямі, якія адбіваюць святло дыфузна, з'яўляюцца паверхні сцен, столы, тканін, ваты, снегу (мал. 235), скуры і г. д. Толькі дзякуючы дыфузнаму адбіццю мы бачым прадметы, якія самі не выпраменьваюць святло.

Дыфузна адбіваючыя паверхні называюць *матовымі*, люстра адбіваючыя — *бліскучымі*.

Прывядзіце самі прыклады бліскучых і матовых паверхняў.



Мал. 233



Мал. 234



Мал. 235

Чым больш святла адбівае паверхня (чым менш паглынае), тым яна здаецца больш светлай. Белы ліст паперы адбівае больш святла, чым шэры кардон, але гэты ж кардон адбівае больш святла, чым чорны аксаміт.

■ Галоўныя вывады

1. Адбіты прамень ляжыць у той жа плоскасці, што і падаючы прамень, і перпендыкуляр да паверхні, праведзены ў пункт падзення.
2. Вугал адбіцця светлагага праменя роўны вуглу падзення.
3. Светлавая прамені маюць уласцівасць абарачальнасці.
4. Люстраныя паверхні адбіваюць святло накіравана, шурпатыя (матавыя) — дыфузна, г. зн. па ўсіх напрамках.

? Кантрольныя пытанні

1. Які вугал называюць вуглом падзення светлагага праменя? Вуглом адбіцця?
2. Як зменіцца вугал адбіцця, калі вугал падзення паменшыцца?
3. У чым выражаецца ўласцівасць абарачальнасці падаючага і адбітага праменяў?
4. Якія паверхні адбіваюць святло люстрана? Дыфузна?
5. Чаму матавую паверхню можна бачыць з любога становішча, а люстраную — не?

➔ Дамашняе заданне

Пры дапамозе крыніцы святла і ліста кардону з дзвюма адтулінамі атрымайце на экране цені і паўцені непразрыстага прадмета. Апішыце эксперымент.

Прыклад рашэння задачы

Сонечныя прамені ўтвараюць з гарызонтам вугал $\varphi = 40^\circ$. Як трэба расмясціць плоскае люстра, каб адбітыя прамені пайшлі вертыкальна ўверх?

Дадзена:

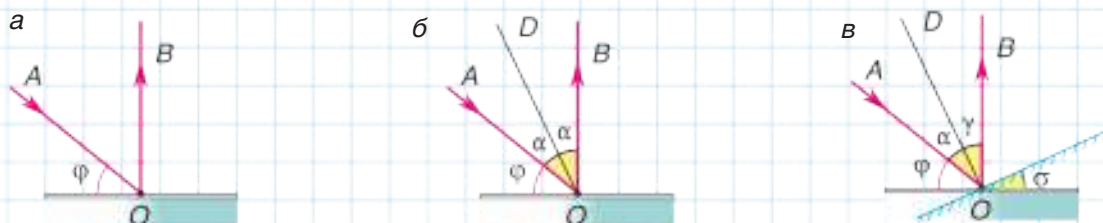
$$\varphi = 40^\circ$$

σ — ?

Рашэнне

Правядзём адбіты прамень OB (мал. 236, а). Вугал AOB , роўны $90^\circ - \varphi = 90^\circ - 40^\circ = 50^\circ$, — гэта сума двух роўных вуглоў (падзення і адбіцця ад люстра):

$$\alpha + \gamma = 2\alpha = 50^\circ.$$



Мал. 236

Правёўшы бісектрысу OD гэтага вугла, мы атрымаем становішча перпендыкуляра да люстра (мал. 236, б). Пакажам відарыс і самога люстра (мал. 236, в). З чарцяжа бачна, што шуканы вугал $\sigma = \gamma = \frac{50^\circ}{2} = 25^\circ$.

Адказ: $\sigma = 25^\circ$.

Практыкаванне 22

1. Пад якім вуглом адбіваецца прамень, які ўпаў перпендыкулярна да люстра? А які ўпаў пад вуглом $\varphi = 60^\circ$ да паверхні люстра? Пакажыце гэта на малюнку.

2. Чаму паверхня класнай дошкі павінна быць матавай?

3. Люстрана або дыфузна адбівае святло паверхня Месяца? Як гэта можна даказаць, не выкарыстоўваючы даных касмічных палётаў?

4. Туфлі пачынаюць блішчаць, калі іх змазаць крэмам і пачысціць шчоткай. Якія фізічныя з'явы тут праяўляюцца?

5. Якім будзе вугал адбіцця, калі прамень падаючы і прамень адбіты ўтвараюць вугал $\varphi = 70^\circ$? Пацвердзіце свой адказ чарцяжом.

6. Сонечныя прамені ўтвараюць з гарызонтам вугал $\varphi = 38^\circ$. Як трэба размясціць плоскае люстра, каб асвятліць сонечным святлом дно калодзежа?



7. На які вугал павернецца адбіты прамень, калі, не змяняючы напрамку падаючага праменя, люстра павярнуць на вугал $\varphi = 10^\circ$ адносна восі, перпендыкулярнай да падаючага праменя?

8. Чаму адбітак Месяца на паверхні возера, пакрытага рабізнай, здаецца падоўжаным?

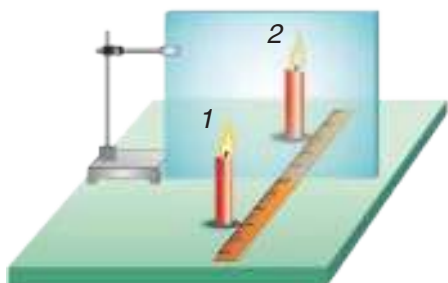


§ 35.

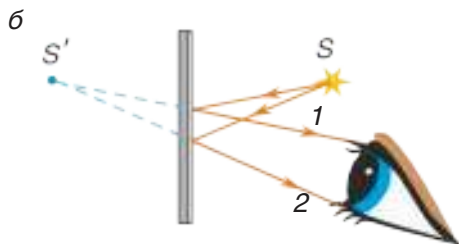
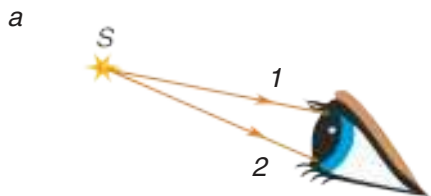
Люстры. Відарыс у плоскім люстры



Мал. 237



Мал. 238



Мал. 239

Кожны дзень па некалькі разоў вы глядзіце ў люстра і бачыце ў ім свой відарыс (мал. 237). Паспрабуем адказаць на шэраг пытанняў. Дзе і на якой адлегласці ад люстра знаходзіцца відарыс прадмета? Якія памеры відарыса ў параўненні з памерамі самога прадмета? Як утвараецца відарыс?

Правядзём дослед. На стала размесцім вертыкальна шкляную пласцінку і запаленую свечку 1, як паказана на малюнку 238. Шкляная пласцінка будзе выконваць ролю плоскага люстра. У шкле добра бачны відарыс свечкі. Зазірнуўшы за пласцінку, мы, вядома, не знойдзем гэту свечку.

Такую ж па памерах, але незапаленую свечку 2 будзем перасоўваць з другога боку пласцінкі да таго часу, пакуль яна не сумесціцца з відарысам (не будзе здавацца запаленай). Па лінейцы вызначым адлегласць l_1 ад пласцінкі да свечкі 1 і l_2 — да яе відарыса, г. зн. свечкі 2. Параўнаўшы адлегласці да абедзвюх свечак, мы пераканамся, што $l_1 = l_2$. Паколькі свечка 2 сумясцілася з відарысам па вышыні, то можна зрабіць вывад, што памеры відарыса роўны памерам прадмета.

Працягнем дослед. Перасунем свечку 1 бліжэй да шкляной пласцінкі. Яе відарыс таксама наблізіцца, прычым роўна на столькі ж, у чым лёгка пераканацца з дапамогай лінейкі.

Становішча відарыса не зменіцца, калі замест шкляной пласцінкі выкарыстоўваць плоскае люстра.

З праведзеных доследаў вынікае, што ў плоскім люстры вока бачыць відарыс такіх жа памераў, што і прадмет, і на такой жа адлегласці за люстрам.

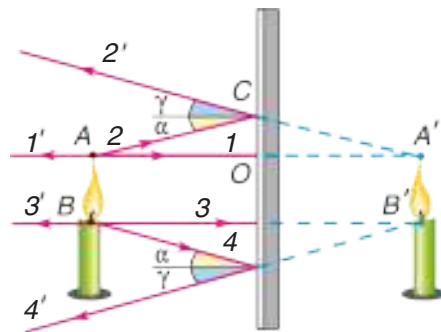
Але што азначае: «Вока бачыць відарыс»? Як вока вызначае месцазнаходжанне прадмета або яго відарыса?

Разгледзім прамені 1 і 2, якія пападаюць у вока (мал. 239, а). Гэтыя прамені ідуць ад пункта S , што свеціцца. А калі прамені пападаюць у вока не ад самога пункта, што свеціцца, а адбіўшыся ад люстра (мал. 239, б)? Воку ўсё роўна, як гэтыя прамені ідуць да таго моманту, пакуль не пападаюць у яго. Яно будзе фіксаваць становішча крыніцы праменяў (пункта S) на перасячэнні прадаўжэнняў праменяў, якія пападаюць у яго, — у пункце S' . Вока ўбачыць, што пункт, які свеціцца, знаходзіцца менавіта там. Гэта ўяўны відарыс пункта S , што свеціцца, ад якога ў вока пападаюць прамені 1 і 2.

Значыць, вока бачыць і сам прадмет (пункт, які свеціцца), і яго ўяўны відарыс толькі тады, калі ў яго пападаюць прамені, што ідуць непасрэдна ад прадмета або пасля адбіцця ад люстра і нясуць светлавую энергію. Калі такіх праменяў няма, то і відарыс у воку не ствараецца.

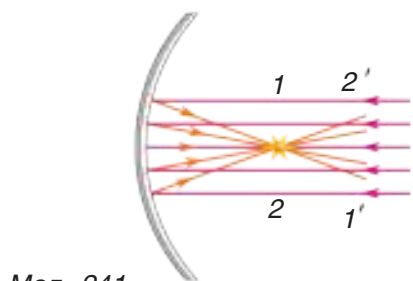
Растлумачым яшчэ раз, чаму відарыс S' у плоскім люстры называюць уяўным. Мы можам убачыць гэты відарыс. Але калі мы змесцім у пункт S' устройства, адчувальнае да светлавой энергіі (фотаствужку або проста белы экран), то нічога там не выявім. У гэты пункт энергія святла не паступае.

Пабудуем цяпер відарыс працяглага прадмета (полымя свечкі) у плоскім люстры. Пакажам відарыс двух крайніх пунктаў A і B . Для атрымання кожнага пункта можна выкарыстоўваць два любыя прамені (мал. 240). Няхай прамень 1 падае на люстра ў пункт O перпендыкулярна да плоскасці люстра ($\alpha = 0^\circ$). Адбіты прамень 1' пойдзе ўздоўж падаючага, але ў зваротным напрамку ($\gamma = \alpha = 0^\circ$). Прамень 2 падае пад вуглом α і адбіваецца пад такім жа вуглом γ . На малюнку 240 бачна, што адбітыя прамені 1' і 2' не перасякаюцца. Перасякаюцца ў пункце A' іх прадаўжэнні. Таму пункт A' і ёсць відарыс пункта A , прычым, як вы ўжо здагадаліся, уяўны відарыс. За люстра не пападаюць светлавая энергія, а значыць, і светлавая энергія ў пункце A' няма. Няцяжка даказаць (зробіце гэта самі), што трохвугольнікі ACO і $A'CO$ роўныя. Тады $AO = OA'$. Аналагічна будзецца відарыс пункта B .

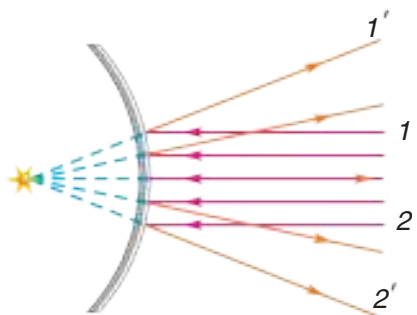


Мал. 240

Такім чынам, з доследу і пабудавання вынікае: відарыс прадмета ў плоскім люстры з'яўляецца ўяўным, прамым, па памерах роўным прадмету і знаходзіцца на такой жа адлегласці за люстрам, на якой размешчаны прадмет перад люстрам.



Мал. 241



Мал. 242



Мал. 243



Мал. 244

Мал. 245



Мал. 246



Для дапытлівых

Важную ролю адыгрываюць люстры, адбіваючыя паверхні якіх з'яўляюцца крывымі: увагнутымі (мал. 241) або выпуклымі (мал. 242). Калі люстра ўвагнутае, яно можа прамені, якія падаюць паралельна, пасля адбіцця сабраць у адным пункце, г. зн. сканцэнтравать светлавую энергію. Выпуклае люстра, наадварот, пасля адбіцця дае пучок святла, які разыходзіцца.

Люстры прымяняюцца ў розных сферах жыццядзейнасці чалавека: у быце, медыцыне (мал. 243), транспарце, для афармлення памяшканняў і г. д.



Для дапытлівых

Выпуклыя люстры выкарыстоўваюцца ў аўтамабілях (мал. 244), на станцыях метро (мал. 245), на перакрываваннях вуліц для агляду наваколя. Яны забяспечваюць значна больш шырокі агляд, чым плоскія. Увагнутыя люстры выкарыстоўваюцца там, дзе трэба сканцэнтравать светлавую энергію, напрыклад у люстраным тэlescope (мал. 246). З яго дапамогай можна назіраць нават няяркія далёкія зоркі.

Галоўныя вывады

1. Светлавия прамені, што падаюць на люстра, адбіваюцца і за люстра не падаюць.
2. Відарысам пункта, які свеціцца, у плоскім люстры з'яўляецца пункт перасячэння прадаўжэнняў праменяў, адбітых ад паверхні люстра.
3. Плоскае люстра дае ўяўны, прамы відарыс прадмета, роўных з ім памераў і на такой жа адлегласці, што і прадмет, ад люстра.

? Кантрольныя пытанні

1. Чаму для пабудавання відарыса пункта, які свеціцца, недастаткова аднаго праменя святла, які выходзіць з яго?
2. Чаму відарыс пункта, які свеціцца, у плоскім люстры ўяўны?
3. Як даказаць, што памеры прадмета і відарыса ў плоскім люстры роўныя?
4. Чаму часам відарыс у плоскім люстры называюць «аптычным прывідам»?
5. Якую ролю ў атрыманні відарыса прадмета ў люстры адыгрывае вока?

Практыкаванне 23

1. Дзе знаходзіцца плоскае люстра, калі эмблема A чэмпіянату свету па хакеі (Мінск, 2014 г.) і яе відарыс A' размешчаны так, як паказана на малюнку 247?



Мал. 247

2. Люстра, вока і стрэлка, якая свеціцца, размешчаны, як паказана на малюнку 248. Дзе назіральнік убачыць відарыс стрэлкі? Дакажыце гэта пабудаваннем відарыса.



Мал. 248

3. Седзячы ў аўтобусе, вы часам бачыце ў люстры ў кабіне вадзіцеля яго твар. Ці бачыць вадзіцель у гэтым люстры ваш твар? Чаму?

4. Ці можна сцвярджаць, што відарыс прадмета ў плоскім люстры (мал. 249) абсалютна ідэнтычны (аднолькавы) прадмету?

5. Па стальніцы коціцца шарык. Як трэба ўстанавіць на сталі плоскае люстра, каб відарыс шарыка рухаўся вертыкальна: а) уверх; б) уніз?



Мал. 249

6. Ці можна сфатаграфавать відарыс у люстры? Праверце на доследзе і растлумачце.



§ 36.

Праламленне святла



Мал. 250

Чаму ногі чалавека, які зайшоў у ваду, здаюцца карацейшымі (мал. 250)? Дно басейна мы бачым бліжэй да паверхні, чым ёсць насамрэч. Лыжка ў шклянцы на ўзроўні паверхні вады (мал. 251) здаецца пераламанай. Як растлумачыць гэтыя з'явы?

Калі пучок святла падае на мяжу падзелу двух празрыстых асяроддзяў, частка яго адбіваецца, а частка пераходзіць у другое асяроддзе, змяняючы свой напрамак (мал. 252).

Змяненне напрамку распаўсюджвання святла пры пераходзе яго праз мяжу падзелу двух асяроддзяў называецца праламленнем.

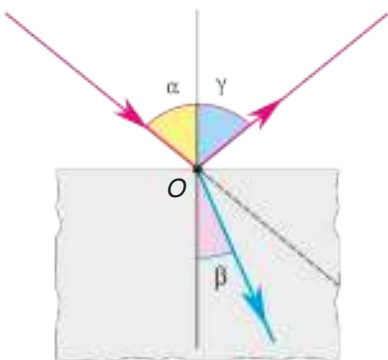
Якім законам падпарадкоўваецца праламленне святла? Разгледзім дослед. У цэнтры аптычнага дыска замацуем шкляны паўдыск (мал. 253), накіруем на яго вузкі пучок святла (прамень 1). Прамень 3 — праломлены прамень.

Вугал β паміж перпендыкулярам, праведзеным у пункт падзення да мяжы падзелу двух асяроддзяў, і праломленым праменем называецца вуглом праламлення.

Параўнаўшы вуглы α і β (гл. мал. 253), мы бачым, што вугал праламлення β меншы за вугал падзення α .



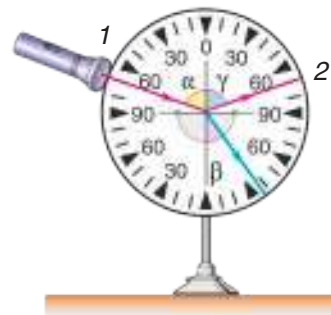
Мал. 251



Мал. 252



Мал. 253



Мал. 254

Павялічым вугал падзення (мал. 254). Вугал праламлення таксама павялічыцца, але ён павольнейшы за вугал падзення.

Калі шкло замяніць вадой і пусціць светлавы прамень пад тым жа вуглом α (мал. 255, а), што і на шкляны паўдыск, то вугал праламлення β у вадзе будзе некалькі большы, чым у шкле, але меншы за вугал падзення: $\beta < \alpha$. Параўнаем скорасці святла ў паветры, вадзе і шкле: $v_{\text{пав}} > v_{\text{в}} > v_{\text{шк}}$, г. зн. шкло аптычна больш шчыльнае асяроддзе, чым вада, а вада — чым паветра. Такім чынам, пры пераходзе праменя з аптычна менш шчыльнага ў аптычна больш шчыльнае асяроддзе вугал праламлення меншы за вугал падзення.

А калі прамень пераходзіць з вады ў паветра?

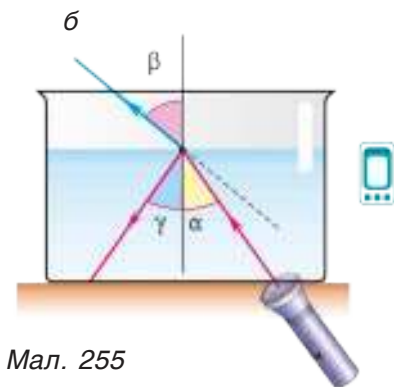
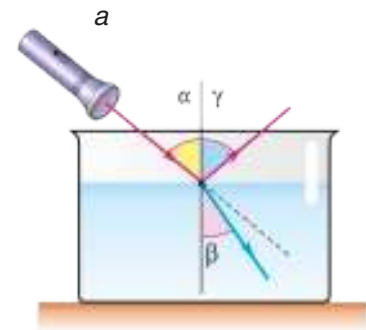
З доследу (мал. 255, б) бачна, што вугал β большы за вугал α . Значыць, калі святло пераходзіць з аптычна больш шчыльнага асяроддзя ў аптычна менш шчыльнае, то вугал праламлення большы за вугал падзення. Гэты вывад лагічна вынікае з уласцівасці абарачальнасці, якая характэрна не толькі для падаючага і адбітага праменяў, але і для падаючага і праломленага праменяў.

З рэзультатаў праведзеных доследаў вынікае.

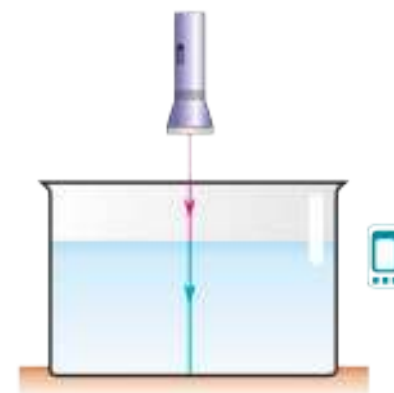
1. Прамень падаючы і прамень праломлены ляжаць у адной плоскасці з перпендыкулярам, праведзеным у пункт падзення праменя да мяжы падзелу двух асяроддзяў.

2. Вугал праламлення меншы за вугал падзення пры пераходзе праменя з аптычна менш шчыльнага асяроддзя ў аптычна больш шчыльнае. Вугал праламлення большы за вугал падзення, калі прамень пераходзіць з аптычна больш шчыльнага асяроддзя ў аптычна менш шчыльнае.

Гэтыя два галоўныя палажэнні выражаюць сутнасць з'явы праламлення святла. Аднак, калі прамень падае перпендыкулярна да мяжы падзелу двух асяроддзяў ($\alpha = 0^\circ$), ён не зведае праламлення, што пацвярджаецца доследам (мал. 256).



Мал. 255



Мал. 256

Галоўныя вывады

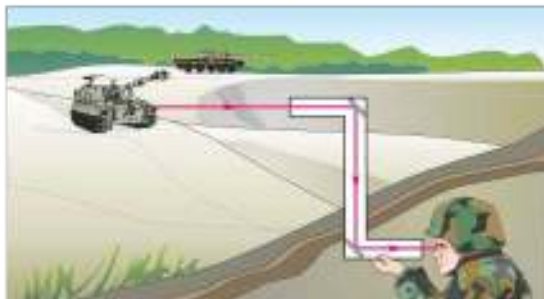
1. Пры пераходзе з аднаго асяроддзя ў другое светлавы прамень на мяжы падзелу асяроддзяў у большасці выпадкаў зведвае праламленне (змяняе напрамак).
2. Прамень, які падае перпендыкулярна да мяжы падзелу двух асяроддзяў, не зведвае праламлення.
3. Калі прамень пераходзіць з аптычна менш шчыльнага асяроддзя ў аптычна больш шчыльнае, вугал праламлення меншы за вугал падзення ($\beta < \alpha$). Пры пераходзе праменя з аптычна больш шчыльнага асяроддзя ў менш шчыльнае вугал праламлення большы за вугал падзення ($\beta > \alpha$).

Кантрольныя пытанні

1. Якія з'явы адбываюцца са светлавым праменем на мяжы падзелу двух асяроддзяў?
2. Як залежыць змяненне напрамку праменя пры пераходзе з аднаго асяроддзя ў другое ад скорасці распаўсюджвання святла ў іх?
3. Ці можа вугал праламлення быць большы за вугал падзення? У якіх выпадках?
4. Ці магчымы пераход праменя святла з аднаго асяроддзя ў другое без праламлення?
5. У якіх межах можа змяняцца вугал праламлення пры пераходзе праменя з вады ў паветра? Чаму?

Дамашняе заданне

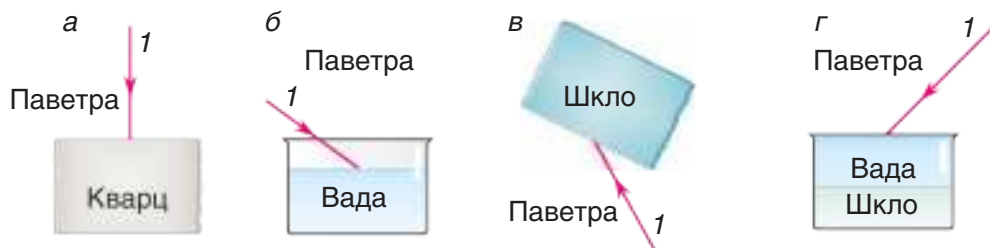
Для назірання з акупа за падзеямі, якія адбываюцца на паверхні зямлі, выкарыстоўваюць перыскоп (ад грэч. *periskopéō* — гляджу навокал). Найпрасцейшая схема люстра-нога перыскопа паказана на малюнку 257. Растлумачце дзеянне перыскопа. Сканструйце дома перыскоп і паназірайце, седзячы на падлозе, за тым, што адбываецца за акном.



Мал. 257

Практыкаванне 24

1. Пакажыце прыкладны ход праламленага праменя ў дадзеных асяроддзях (мал. 258), прамень 1 — падаючы.



Мал. 258

2. Прамень святла падае з паветра пад адным і тым жа вуглом на паверхні вады, шкла і алмазу. Для якога з асяроддзяў вугал праламлення будзе найбольшым? Найменшым? Пакажыце гэта на чарцяжы.

3. Па якіх напрамках трэба пусціць прамені ў алмазе, шкле і вадзе, каб прамені, якія выйшлі з іх у паветра (мал. 259), аказаліся паралельнымі?

4. Як зменіцца шырыня пучка паралельных праменяў пасля праламлення яго на мяжы асяроддзяў «паветра — вада»? Зрабіце чарцёж, які тлумачыць адказ.

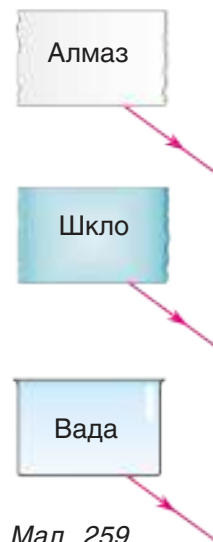


5. Чалавеку, які стаіць на беразе, здаецца, што ногі чалавека, які зайшоў у ваду, сталі карацейшымі. Рас-
тлумачце з дапамогай чарцяжа гэты аптычны падман.

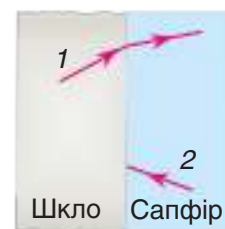


6. Два хлопчыкі, адзін з якіх знаходзіцца пад вадой, а другі — на беразе, ацэньваюць на вока вышыню Сонца над гарызонтам. Якому з іх Сонца будзе здавацца ніжэй?

7. Пласцінка са шкла прыціснута да пласцінкі з сапфіру. На мяжу іх падзелу падаюць прамені 1 і 2. Напрамак распаўсюджвання праменя 1 у шкле і сапфіры паказаны на малюнку 260. Пакажыце прыкладны напрамак распаўсюджвання ў шкле пераломленага праменя 2. Адказ патлумачце.



Мал. 259



Мал. 260



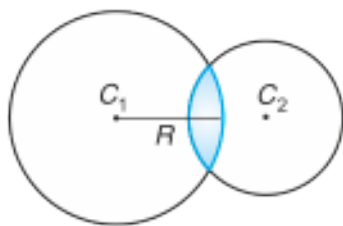
§ 37.

Лінзы. Аптычная сіла лінзы

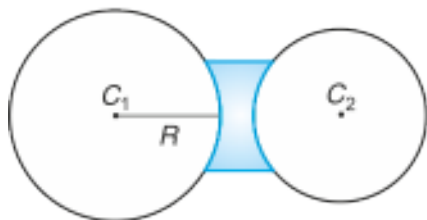
Многія людзі носяць акуляры. А ці задумваліся вы над пытаннямі: што ўяўляе сабой шкло акуляраў і якая яго роля? Шкло акуляраў ёсць не што іншае, як лінза. Ні адзін аптычны прыбор (ад простага лупы да складанага тэлескопа) не абыходзіцца без лінзаў. Што ж такое лінза?

Лінза ўяўляе сабой празрыстае цела, абмежаванае крывалінейнымі (часцей за ўсё сферычнымі) або крывалінейнай і плоскай паверхнямі. Матэрыялам для лінзаў звычайна служыць аптычнае або арганічнае шкло.

На малюнках 261, 262 паказаны сячэнні лінзаў двух тыпаў: *дваякавыпуклай* (гл. мал. 261) і *дваякаўвагнутай* (гл. мал. 262). Адна з паверхняў лінзы можа быць плоскай, як, напрыклад, на малюнку 263. Такія лінзы называюцца *плоскавыпуклай* (гл. мал. 263, а) і *плоскаўвагнутай* (гл. мал. 263, б).



Мал. 261



Мал. 262

Прамая, якая праходзіць праз цэнтры C_1 і C_2 сферычных паверхняў (мал. 264), называецца *галоўнай аптычнай воссю лінзы*. радыусы R_1 і R_2 (гл. мал. 264) ёсць радыусы крывізны паверхняў лінзы.

Калі таўшчыня лінзы малая ў параўнанні з радыусамі R_1 і R_2 крывізны яе паверхняў (гл. мал. 264), то лінза называецца *тонкай*. Яе часта абазначаюць $\uparrow$ або $\downarrow$. Усякая тонкая лінза мае пункт, пры праходжанні праз які прамень не змяняе свайго напрамку (прамені 1 і 2 на малюнку 264). Гэты пункт O называецца *аптычным цэнтрам лінзы*. У далейшым мы будзем разглядаць толькі тонкія лінзы, вырабленыя з рэчыва, аптычна больш шчыльнага, чым асяроддзе (паветра), у якім яны знаходзяцца.

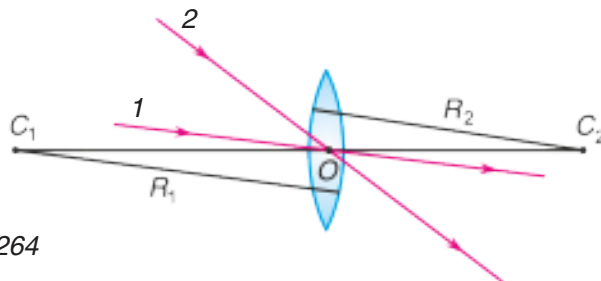
а



б



Мал. 263



Мал. 264

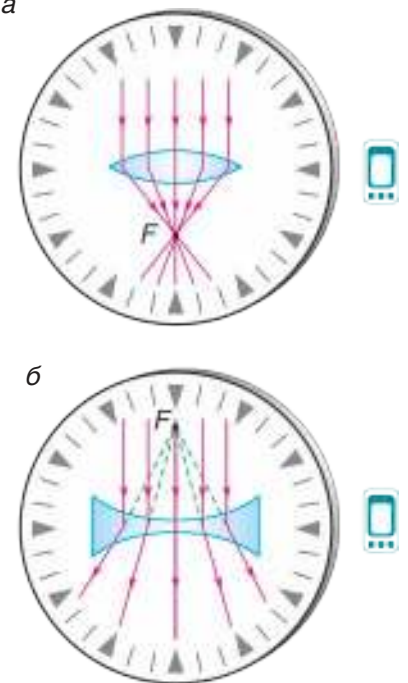
Як лінзы змяняюць напрамак падаючых на іх праменяў пасля праламлення? Адказ атрымаем пры дапамозе доследу.

Накіруем на дваякавыпуклую лінзу (мал. 265, а) паралельна галоўнай аптычнай восі прамені святла. Пасля праламлення ў лінзе яны перасякаюць галоўную аптычную вось у адным пункце F . Значыць, дваякавыпуклая лінза збірае праламленыя прамені, таму такая лінза называецца **збіральнай**. Лінзы 2, 3, паказаныя на малюнку 270 (с. 147), таксама ператвараюць паралельны пучок у сыходны.

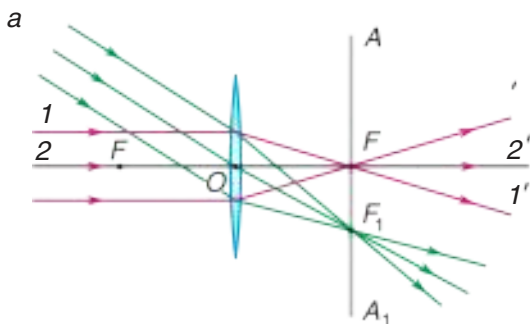
Пры замене лінзы на дваякаўвагнутую (мал. 265, б) прамені пасля праламлення ў лінзе разыходзяцца, а цэнтральны прамемень, як і ў першым выпадку, не зведвае праламлення. Такім чынам, дваякаўвагнутая лінза рассеівае паралельны пучок падаючых праменяў, таму такая лінза называецца **рассейвальнай**. Рассейваюць паралельны пучок і лінзы 5, 6 (гл. мал. 270).

Пункт F (гл. мал. 265, а, мал. 266, а), у якім перасякаюцца праламленыя лінзай прамені, падаючыя паралельна галоўнай аптычнай восі, або іх прадаўжэнні (гл. мал. 265, б, мал. 266, б), называецца **галоўным фокусам лінзы**. Паколькі паралельныя прамені можна пусціць як з аднаго, так і з другога боку лінзы, то ў лінзы два галоўныя фокусы. Абодва фокусы ляжаць на галоўнай аптычнай восі сіметрычна адносна аптычнага цэнтра лінзы (гл. мал. 266). А ў якім пункце лінза збірае прамені, што ідуць пад вуглом да галоўнай аптычнай восі? Аказваецца, у пункце F_1 , які знаходзіцца ў плоскасці $A-A_1$ (гл. мал. 266, а), што праходзіць праз галоўны фокус перпендыкулярна да галоўнай аптычнай восі. Гэта плоскасць называецца **факальнай плоскасцю**, а пункт F_1 , у адрозненне ад галоўнага фокуса, называецца **фокусам**.

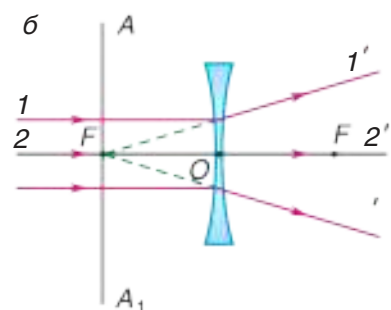
Звярніце ўвагу, што ў фокусе збіральнай лінзы перасякаюцца самі *прамленыя прамені*, якія нясуць энергію, таму фокус называецца **сапраўдным**. У фокусе расейвальнай лінзы перасякаюцца

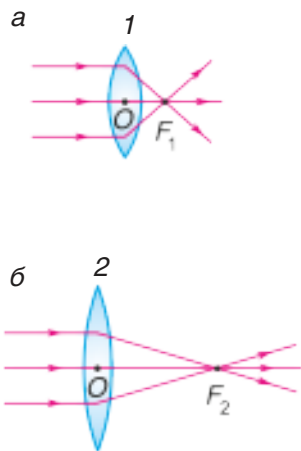


Мал. 265



Мал. 266





Мал. 267

прадаўжэнні праломленых праменяў. Такі фокус называюць уяўным.

Адлегласць ад аптычнага цэнтра да галоўнага фокуса называецца **фокуснай адлегласцю**. Яе таксама абазначаюць літарай F .

Лінза, якая мае больш выпуклыя паверхні, праламляе прамені мацней. Лінза 1 (мал. 267, а) праламляе прамені мацней, чым лінза 2 (мал. 267, б). Фокусная адлегласць F_1 у лінзы 1 меншая, чым F_2 у лінзы 2.

Каб колькасна ацаніць праламляльную здольнасць лінзы, увядзём велічыню, адваротную фокуснай адлегласці, і назавём яе **аптычнай сілай лінзы** (абазначаецца літарай D):

$$D = \frac{1}{F}.$$

Аптычная сіла вымяраецца ў **дыяптрыях** (скарочана **дптр**). Відачна, што $D = 1$ дптр, калі фокусная адлегласць лінзы $F = 1$ м.

А як ацэньваецца аптычная сіла рассеивальнай лінзы, у якой фокус уяўны? У гэтым выпадку фокусная адлегласць лічыцца адмоўнай, а значыць, і аптычная сіла — адмоўнай велічынёй.

Напрыклад, калі $F = -0,5$ м, то аптычная сіла

$$D = \frac{1}{-0,5 \text{ м}} = -2 \text{ дптр}.$$

Цяпер для вас не будзе загадкай рэкамендацыя ўрача-акуліста: «Вам патрэбны акуляры са шклом $+1,5$ дыяптрыі або -2 дыяптрыі».

▼ Для дапытлівых

Не варта думаць, што любая лінза з выпуклай паверхняй будзе абавязкова збіральнай, а з увагнутай — рассеивальнай. Збіральнай з'яўляецца ўсякая лінза, у якой сярэдзіна таўсцейшая за краі (напрыклад, лінзы 1, 2, 3 на малюнку 270), а рассеивальнай — лінза, у якой сярэдзіна танчэйшая за краі (гл. мал. 270, лінзы 4, 5, 6). І не забывайце, што ўсе нашы разважанні справядлівыя, калі рэчыва лінзы (шкло) мае большую аптычную шчыльнасць, чым навакольнае асяроддзе (паветра).

У прыродзе збіральнымі лінзамі з'яўляюцца кропелькі расы, у быце — напоўненыя вадой празрыстыя пасудзіны — ваза, пластыкавая бутэлька. Падумайце і адкажыце, якія гэта лінзы.

Галоўныя вывады

1. Лінзы змяняюць напрамак падаючых на іх праменяў пасля праламлення, за выключэннем тых, якія праходзяць праз аптычны цэнтр лінзы.
2. Збіральная лінза пасля праламлення робіць паралельны пучок праменяў сыходным, рассеивальная лінза — разыходным.
3. Прамені, якія ідуць паралельна галоўнай аптычнай восі, пасля праламлення ў збіральнай лінзе перасякаюцца ў галоўным фокусе. У рассеивальной лінзе ў галоўным фокусе перасякаюцца прадаўжэнні праламленых праменяў.
4. Велічыня, адваротная фокуснай адлегласці, вызначае аптычную сілу лінзы.

? Кантрольныя пытанні

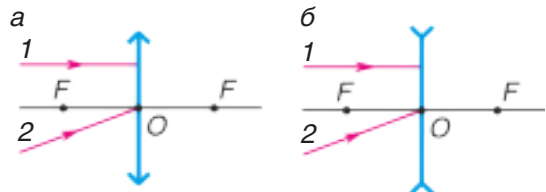
1. Якую лінзу называюць тонкай?
2. Якой асаблівай уласцівасцю валодае аптычны цэнтр тонкай лінзы?
3. Як паводзіць сябе паралельны пучок праменяў, які прайшоў праз: а) збіральную лінзу; б) рассеивальную лінзу?
4. Чаму фокус збіральнай лінзы называюць сапраўдным, а рассеивальной — уяўным?
5. Як залежыць аптычная сіла лінзы ад фокуснай адлегласці?

Практыкаванне 25

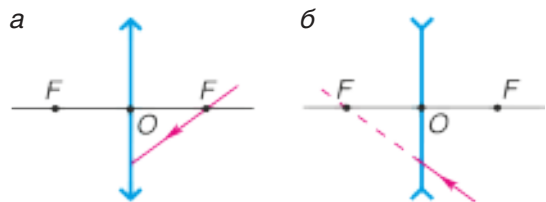
1. Для лінзаў, паказаных на малюнку 268, а, б, пабудуйце ход праменяў 1, 2 пасля праламлення лінзамі.

2. Пакажыце ход праменяў, падаючых на тонкія збіральную і рассеивальную лінзы (мал. 269, а, б).

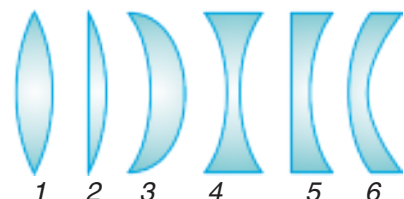
3. Па форме абмежавальных паверхняў сферычных лінзы можна падзяліць на 6 тыпаў (гл. мал. 270). З лінзамі 1, 2, 4, 5 вы ўжо знаёмы. Лінза 3 — увагнута-выпуклая, лінза 6 — выпукла-ўвагнутая. Якія з лінзаў маюць дадатную аптычную сілу? Якія адмоўную? Пры якіх умовах?



Мал. 268



Мал. 269



Мал. 270



§ 38.

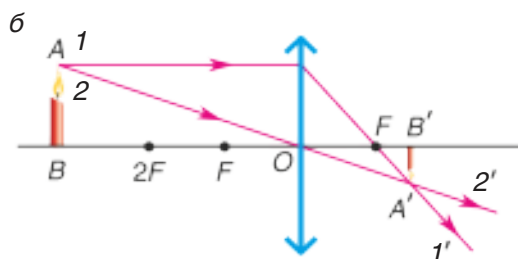
Пабудаванне відарысаў у тонкіх лінзах

Гледзячы ў акуляр мікраскопа на ўроках біялогіі, ці задумваліся вы, як атрымліваецца павялічаны відарыс клетак? Галоўнымі часткамі мікраскопа з'яўляюцца лінзы. Менавіта яны дазваляюць атрымліваць павялічаны або паменшаны (напрыклад, у фотаапаратах) відарыс прадмета.

Якія відарысы прадмета стварае лінза?

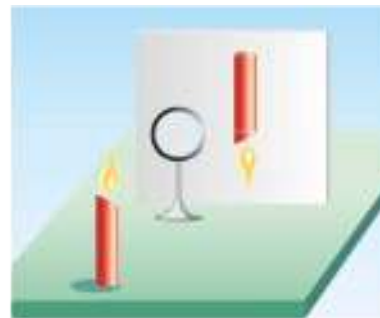
Правядзём дослед. На стала размесцім экран, збіральную лінзу і запаленую свечку (мал. 271, а), аддаленую ад лінзы на адлегласць d , большую, чым падвоеная фокусная, г. зн. $d > 2F$. Будзем перасоўваць экран да таго часу, пакуль не ўбачым на ім выразны відарыс полымя свечкі. Чым ён адрозніваецца ад відарыса, які мы ўбачым у люстры, змясціўшы перад ім гэтую ж свечку? Па-першае, ён паменшаны, па-другое, перавернуты. Але самае галоўнае, што гэты відарыс, у адрозненне ад уяўнага відарыса ў люстры, рэальна існуе. На экране канцэнтруецца энергія святла. Адчувальны тэрмометр, змешчаны ў відарыс полымя свечкі, пакажа павышэнне тэмпературы. Таму атрыманы ў лінзе відарыс называюць сапраўдным, у адрозненне ад уяўных відарысаў, якія назіраюцца ў плоскім люстры.

Пацвердзім сказанае пабудаваннем (мал. 271, б). Для атрымання відарыса пункта А дастаткова выкарыстаць два прамені, ход якіх пасля праламлення ў лінзе вядомы. Прамень 1 ідзе паралельна галоўнай аптычнай восі і пасля праламлення ў лінзе праходзіць праз галоўны фокус. Прамень 2 ідзе праз аптычны цэнтр і не змяняе свайго напрамку пасля праходжання праз лінзу. Пункт А', які з'яўляецца перасячэннем прамянёў 1' і 2', што прайшлі праз лінзу, ёсць сапраўдны відарыс пункта А. Заўважым, што праз пункт А' пройдзе і любы іншы праламлены прамень, які ідзе ад пункта А, дзякуючы чаму энергія, што выпраменьваецца пунктам А полымя свечкі, будзе канцэнтравана ў пункце А'.



Мал. 271

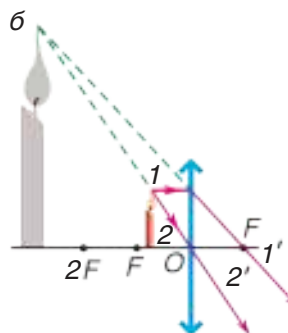
Працягнем дослед. Паставім свечку на адлегласці $d = 2F$. Перасоўваючы экран, мы ўбачым на ім сапраўдны, перавернуты відарыс полымя свечкі, але яго памер будзе роўны памеру полымя самой свечкі (мал. 272). Зрабіце самі пабудаванне відарыса для гэтага выпадку.



Мал. 272

Перасоўваючы свечку бліжэй да лінзы ($F < d < 2F$) і аддаляючы экран, мы ўбачым на ім сапраўдны, перавернуты, павялічаны відарыс полымя свечкі (пабудаванне зрабіце самастойна).

Нарэшце паставім свечку на адлегласці d ад лінзы, меншай за фокусную, г. зн. $d < F$. З таго ж боку, дзе знаходзіцца сама свечка, можна ўбачыць павялічаны, прамы відарыс свечкі (мал. 273, а). Пацвердзім гэты вынік пабудаваннем (мал. 273, б). Відарыс свечкі будзе ўяўным, паколькі ён утвораны перасячэннем не саміх праломленых праменяў, а іх прадаўжэнняў. Такі прамы, павялічаны, уяўны відарыс назірае праз лінзу (яна называецца лупай) майстар, які рамантавае ваш гадзіннік або мабільны тэлефон (мал. 274).

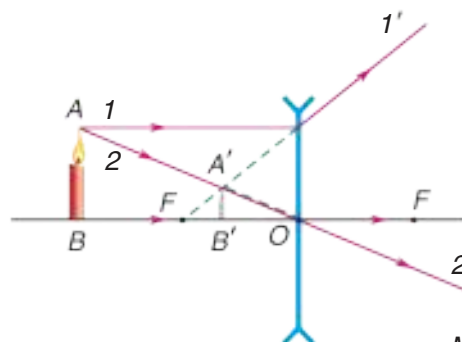


Мал. 273

А якія відарысы прадмета дае рассеивальная лінза? Няхай паралельна галоўнай аптычнай восі падае прамень 1 (мал. 275). Пасля лінзы праломлены прамень 1' ідзе так, што толькі яго прадаўжэнне праходзіць праз фокус. Прамень 2 не зведае праламлення. Бачна, што прамені 1' і 2' не перасякаюцца. У пункце А' перасякаюцца іх прадаўжэнні. Тады відарыс пункта А, а значыць, і ўсяго прадмета АВ — уяўны. Як усе



Мал. 274



Мал. 275

ўяўныя відарысы, ён прамы, але паменшаны. Ці дасць расейвальная лінза сапраўдны відарыс, калі змяніць месцазнаходжанне прадмета? Ці можа ён быць павялічаным? Адкажыце на гэтыя пытанні самі, зрабіўшы адпаведныя пабудаванні відарысаў прадмета ў спытку.

Галоўныя вывады

1. Збіральная лінза дае як сапраўдныя, так і ўяўныя відарысы, расейвальная — толькі ўяўныя.
2. Усе ўяўныя відарысы — прамыя, усе сапраўдныя — перавернутыя.
3. Для знаходжання відарыса пункта найбольш мэтазгодна выкарыстоўваць прамень, які ідзе паралельна галоўнай аптычнай восі лінзы, і прамень, які ідзе праз яе аптычны цэнтр.

Кантрольныя пытанні

1. Чым адрозніваюцца сапраўдныя відарысы ад уяўных?
2. Якія віды відарысаў дае збіральная лінза?
3. На якой адлегласці ад збіральнай лінзы трэба размясціць прадмет, каб атрымаць відарыс: а) паменшаны; б) роўны прадмету; в) павялічаны (прамы і перавернуты)?
4. Якія відарысы дае расейвальная лінза? Чаму яна не можа даваць сапраўдных відарысаў?
5. Якія прамені мэтазгодна выкарыстоўваць, каб атрымаць відарыс пункта?
6. Ці можа дваякаўвагнутая лінза даць сапраўдны відарыс прадмета?



Прыклад рашэння задачы

Пры дапамозе шкляной лінзы на экране, аддаленым ад лінзы на адлегласць $f = 36$ см, атрыманы павялічаны ў 3 разы відарыс прадмета. Вызначыце адлегласць ад прадмета да лінзы і аптычную сілу лінзы.

Дадзена:

$$H = 3h$$

$$f = 36 \text{ см}$$

$$d = ?$$

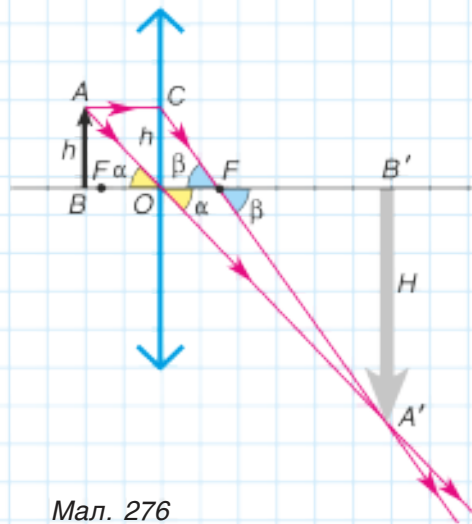
$$D = ?$$

Рашэнне

Пабудуем відарыс прадмета ў лінзе (мал. 276). Паколькі відарыс ёсць на экране, то ён сапраўдны. Акрамя таго, ён павялічаны, значыць, прадмет знаходзіцца паміж фокусам і двайным фокусам, а лінза збіральная.

Па ўмове памер прадмета AB у 3 разы меншы за памер відарыса $A'B'$. З падобнасці трохвугольнікаў AOB і $A'OB'$ вынікае, што такой жа будзе і суадносіна іх старон BO і OB' . Значыць, шуканая адлегласць d будзе ў 3 разы меншай за дадзеную адлегласць f . Гэта дае першы адказ: $d = \frac{1}{3}f = 12$ см. Для адказу на другое пытанне выкарыстаем падобнасць другой пары трохвугольнікаў — CFO і $A'FB'$. І тут падобныя стораны трохвугольнікаў адрозніваюцца ў 3 разы. Паколькі адна з іх — OF роўна фокуснай адлегласці F лінзы, а другая — FB' роўна рознасці $f - F$, то іх сувязь можна запісаць так: $3F = f - F$, або $4F = f = 36$ см. Вылічыўшы значэнне фокуснай адлегласці $F = \frac{1}{4}f = 9$ см, знойдзем і шуканае значэнне аптычнай сілы D лінзы: $D = \frac{1}{F} = \frac{1}{0,09 \text{ м}} \approx 11$ дптр.

Адказ: $d = 12$ см; $D \approx 11$ дптр.



Мал. 276

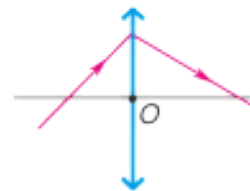
Практыкаванне 26

1. Знайдзіце пабудаваннем становішча фокальнай плоскасці тонкай лінзы, паказанай на малюнку 277.

2. Чаму роўна аптычная сіла камбінацыі трох шкляных лінзаў (мал. 278): дваякаўвагнутай і дзвюх плоскавыпуклых?

3. Відарыс S' пункта S , які свеціцца, адносна галоўнай аптычнай восі CC' паказаны на малюнку 279, а, б. Якая была выкарыстана лінза? Вызначыце пабудаваннем яе становішча.

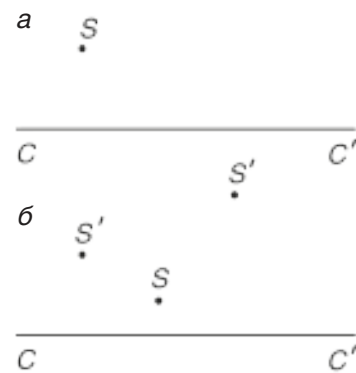
4. Свечка знаходзіцца на адлегласці $d = 20$ см ад лінзы, а яе відарыс на экране — на адлегласці $f = 60$ см ад лінзы. У колькі разоў памеры відарыса адрозніваюцца ад памераў самой свечкі? Чаму роўна аптычная сіла лінзы?



Мал. 277



Мал. 278



Мал. 279

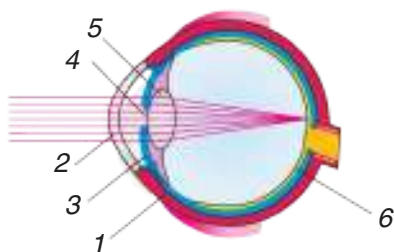


§ 39.

Вока як аптычная сістэма



Мал. 280



Мал. 281

Дзякуючы зроку (мал. 280) увесь жывы свет атрымлівае асноўную частку інфармацыі. Мы ўжо ведаем, што гіпотэза аб «абмацваючых» праменях, якія выцякаюць з вачэй, была беспадстаўнай. Вядома таксама, што мы можам бачыць толькі тыя аб’екты, ад якіх у наша вока пападае святло, выпрамененае самім аб’ектам або адбітае ад яго. Але што адбываецца ў нашым воку пры пападанні святла? Чаму мы не можам бачыць вельмі дробныя і вельмі далёкія прадметы? Што ўяўляе сабой вока чалавека?

Схема вока чалавека (*вочнага яблыка*) паказана на малюнку 281. Вонкавая абалонка вока — *склера 1* сфарміравана са шчыльных злучальных валокнаў. Склера ахоўвае вока і забяспечвае яго цвёрдасць. У пярэдняй частцы вока склера пераходзіць у празрыстую *рагавіцу 2*. Рогавіца — аптычна найбольш шчыльнае асяроддзе вока, яна прапускае святло ў вока. За рогавіцай знаходзіцца *радужная абалонка 3*, якая змяшчае пігмент, што вызначае колер вачэй. У цэнтры радужнай абалонкі знаходзіцца *зрэнка 4*. Зрэнка, звужваючыся або расшыраючыся, дазіруе колькасць

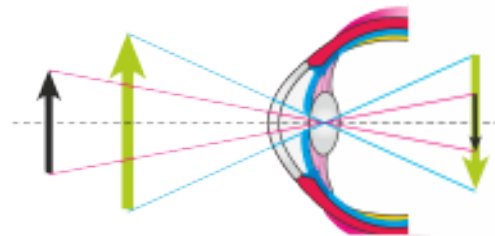
светлавой энергіі, якая пападае ў вока. На святле зрэнка звужваецца, у цемнаце зрэнка расшыраецца, дазваляючы ўлоўліваць вельмі слабыя светлавыя пучкі. За радужнай абалонкай знаходзіцца празрыстае эластычнае цела — *хрусталік 5*, які нагадвае па форме дваякавыпуклую лінзу. Намаганнямі спецыяльных мышцаў хрусталік можа павялічваць або памяншаць сваю крывізну. Гэта павялічвае або памяншае яго аптычную сілу. Поласць паміж рогавіцай і хрусталікам запоўнена празрыстай вадкасцю — *вадзяністай вільгаццю*. За хрусталікам амаль уся вобласць вока запоўнена *шклопадобным целам* — гэта студзяністая, празрыстая маса. **Рогавіца, вадзяністая вільгаць, хрусталік і шклопадобнае цела — усе разам утвараюць аптычную сістэму вока.** Унутраная абалонка — *сятчатка 6* змяшчае пласт зрокавых клетак і некалькі пластоў нервовых клетак. Менавіта тут ідзе пераўтварэнне светлавой энергіі, якая папала ў вока ад прадмета, у нервовы імпульс. Ён перадаецца ў галаўны мозг, дзе і фарміруецца зрокавы вобраз.

Такім чынам, каб выразна бачыць прадмет, неабходна, каб вока сфакусіравала прамені, якія ідуць ад прадмета, на сятчатцы (гл. мал. 281).

Мы добра бачым як блізкія, так і далёкія прадметы. Вадзіцель аўтамабіля выразна бачыць лічбы на спідометры, а ў наступнае імгненне гэтак жа добра — аддалены дарожны знак. Ва ўсіх выпадках святло, якое папала ад прадмета ў вока, павінна факусіравацца ў адным месцы (на сятчатцы).

Хрусталік вока, змяняючы сваю форму, змяняе аптычную сілу сістэмы. Гэта называецца *акамадацыяй* вока. Пры набліжэнні прадмета хрусталік становіцца больш выпуклым, яго фокусная адлегласць памяншаецца так, каб відарыс аказаўся менавіта на сятчатцы. Пры аддаленні прадмета хрусталік выцягваецца, фокусная адлегласць павялічваецца настолькі, што відарыс зноў аказваецца на сятчатцы (мал. 282). Такім чынам, дзякуючы акамадацыі вока чалавек добра бачыць рознааддаленыя прадметы.

Для нармальнага зроку мінімальная адлегласць ад вока да прадмета роўна 25 см. Гэта адлегласць найлепшага бачання. Пры меншых адлегласцах да прадмета вока напружваецца і стамляецца. Стамляльнасці вока спрыяе як недастатковае асвятленне, так і залішняе. Памятайце: каб вока як самае адкрытае акно ў свет праслужыла доўга, неабходна яго берагчы, ствараць умовы для яго ненапружанай работы.



Мал. 282

Галоўныя вывады

1. Вока, якое спалучае некалькі праламляючых асяроддзяў, з'яўляецца эквівалентам караткафокуснай збіральнай лінзы.
2. Бачанне прадметаў ёсць сумесная дзейнасць аптычнай сістэмы вока і галаўнога мозга.
3. Выразнасць відарысаў рознааддаленых прадметаў на сятчатцы вока дасягаецца змяненнем крывізны хрусталіка (акамадацыяй вока).

? Кантрольныя пытанні

1. Якую ролю ў стварэнні зрокавага вобраза адыгрывае аптычная сістэма вока?
2. Чаму светлавая прамень, які ідуць ад прадмета, павінны быць сфакусіраваны на сятчатцы вока?
3. Які відарыс прадмета ствараецца на сятчатцы?
4. Якія змяненні зведае хрусталік, калі позірк пераводзіцца з больш блізкага прадмета на больш аддалены?



§ 40.

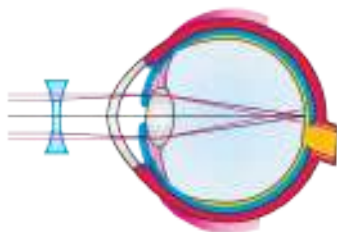
Дэфекты зроку. Акуляры



Мал. 283

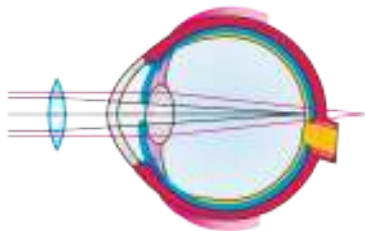
Нельга не заўважыць, што большасць людзей пажылога ўзростуносяць акуляры (мал. 283). Гэта сведчыць аб тым, што аптычная сістэма іх вачэй перастала працаваць нармальна. Дэфекты зроку назіраюцца і ў дзяцей. У чым сутнасць дэфектаў зроку і як іх карэктуюць?

Аптычная сістэма нармальнага вока дае відарыс прадмета на сятчатцы. Аднак з-за розных прычын відарыс далёкіх прадметаў можа фарміравацца не на сятчатцы, а перад ёй (паказана чырвонымі лініямі на малюнку 284). Такі дэфект зроку называюць **блізарукасцю** (у медыцыне — міяпіяй).



Мал. 284

Блізарукасць бывае прыроджанай і набытай. Прычынай з'яўлення блізарукасці ў дзяцей можа быць празмернае захапленне чытаннем блізка размешчанага да вачэй тэксту.



Мал. 285

Як карэктуюць блізарукасць? Для гэтага выкарыстоўваюць акуляры з рассеивальнымі лінзамі. Рассеивальная лінза робіць паралельны пучок святла разыходным (паказана чорнымі лініямі на малюнку 284). Прамені пасля праламлення ў воку факусіруюцца на сятчатцы.

Пры другім дэфекце зроку — **дальназоркасці** — відарыс блізка размешчаных прадметаў (тэксту кнігі, інструмента і г. д.) факусіруецца за сятчаткай (мал. 285). Галоўная прычына дальназоркасці — страта эластычнасці хрусталіка. Нават самымі вялікімі намаганнямі мышцаў ён не можа набыць неабходную крывізну. Гэты дэфект, за рэдкімі выключэннямі, уласцівы для зроку большасці пажылых людзей. Карэктуюцца дэфект дальназоркасці пры дапамозе акуляраў з дадатнай аптычнай сілай збіральных лінзаў (гл. мал. 285).

Такім чынам, правесці карэкцыю зроку можна з дапамогай акуляраў. Часам замест акуляраў выкарыстоўваюць кантактныя лінзы, вырабленыя з палімерных матэрыялаў. Гэтыя лінзы накладваюцца непасрэдна на вочны яблык. Асноўным недахопам кантактных лінзаў

з'яўляецца раздражненне вачэй пры працяглым іх нашэнні. У апошні час праводзіцца лазерная карэкцыя хрусталіка вока (падрабязна пра яе вы можаце даведацца ў Інтэрнэце).

Для дапытлівых

Для любой жывой істоты вока з'яўляецца вельмі важным органам. Валодаючы ўласцівасцю захоўваць зрокавы вобраз на працягу $\frac{1}{16}$ с, вока дае магчымасць чалавеку ўспрымаць як непарыўныя падзеі, падаваемыя на экране, хоць мы добра ведаем, што насапраўдна на экран праецыруюцца 24 нерухомыя кадры ў секунду (мал. 286).



Мал. 286

Галоўныя вывады

1. Блізарукасць — дэфект зроку, пры якім відарыс аддаленых прадметаў фарміруецца перад сятчаткай вока. Карэкціруецца блізарукасць выкарыстаннем расейвальных лінзаў.
2. Дальназоркасць — дэфект зроку, пры якім відарыс блізкіх прадметаў фарміруецца за сятчаткай вока. Карэкціруецца дальназоркасць выкарыстаннем збіральных лінзаў.



Кантрольныя пытанні

1. У чым сутнасць дэфекту зроку «блізарукасць»?
2. Чаму ў воку дальназоркага чалавека відарыс блізкіх прадметаў размыты?
3. Ці можна, не дакранаючыся да шкла акулераў, вызначыць, які дэфект зроку мае іх уладальнік? Як гэта зрабіць?
4. На рэцэпце напісана: «Акуляры +2,5 дптр». Расшыфруйце, якія гэта акуляры і для якога дэфекту зроку. Якую фокусную адлегласць маюць лінзы гэтых акулераў?
5. Чаму ў старасці ў блізарукага з дзяцінства чалавека зрок можа стаць нармальным?



Тэмы праектных заданняў па раздзеле «Светлавые з'явы»

1. Валаконная сувязь: сучаснасць і будучыня.
2. Чаму дазваляючыя сігналы святлафора — зялёнага колеру, а забараняючыя — чырвонага?
3. Аптычныя ілюзіі.
4. Міраж як аптычная з'ява.



Лабараторны эксперымент



«Адзін дослед я стаўлю вышэй за тысячу
меркаванняў, народжаных толькі ўяўленнем».

М. В. Ламаносаў





Лабораторная работа № 1

Параўнанне колькасцей цеплаты пры цеплаабмене

Мэта: праверыць выкананне закону захавання і ператварэння энергіі ў цеплавых з'явах.

Абсталяванне: тэрмометр лабараторны, каларыметр, мензурка, колба з вадой (мал. 287), чайнік з гарачай вадой (адзін на клас).



Мал. 287

Праверце сябе

1. Ад чаго залежыць колькасць паглынутага (вылучанага) цеплаты?
2. У чым сэнс ураўнення цеплавога балансу?

Ход работы

1. Вымерайце тэмпературу t_1 вады ў колбе, запішыце яе ў табліцу.
2. Падыдзіце да стала настаўніка з каларыметрам і набярыце ў яго $V_2 = 100$ мл гарачай вады.
3. На рабочым месцы вымерайце і запішыце тэмпературу t_2 гарачай вады.
4. Не вымаючы тэрмометр, уліце ў каларыметр з колбы $V_1 = 100$ мл вады пакаёвай тэмпературы.
5. Перамешваючы тэрмометрам ваду, сачыце за паніжэннем тэмпературы ў каларыметры; запішыце ў табліцу тэмпературу t_3 , якая ўстанавілася.
6. Знайдзіце змяненне тэмпературы гарачай вады $\Delta t_2 = t_3 - t_2$ і змяненне тэмпературы халоднай вады $\Delta t_1 = t_3 - t_1$.
7. Разлічыце і запішыце ў табліцу колькасць цеплаты, аддадзенай гарачай вадой: $Q_2 = cm_2(t_3 - t_2)$, дзе m_2 — маса гарачай вады.
8. Разлічыце і запішыце ў табліцу колькасць цеплаты, атрыманую халоднай вадой: $Q_1 = cm_1(t_3 - t_1)$, дзе m_1 — маса халоднай вады.
9. Параўнайце модулі колькасцей аддадзенай і атрыманай цеплаты і зрабіце вывады.

Аб'ём вады, мл		Тэмпература вады, °C		Тэмпература, якая ўста- навілася t_3 , °C	Колькасць цеплаты, Дж	
халод- ная V_1	гара- чая V_2	халод- ная t_1	гара- чая t_2		атрыма- ная Q_1	аддадзе- ная Q_2

Кантрольныя пытанні

1. Як вызначалася ў доследзе маса вады?
2. Чаму каларыметр мае дваіныя сценкі?
3. Чаму халодную ваду трэба браць пакаёвай тэмпературы?
4. Ці будуць роўныя модулі змянення тэмпературы і колькасці аддадзенай і атрыманай цеплаты, калі выкарыстаць няроўныя масы цёплай і халоднай вады?

Вывады**Суперзаданне**

Растлумачце, як уплывае на атрыманыя вынікі ўдзел у цеплаабмене каларыметра. Ці заўсёды гэты ўплыў можна не ўлічваць?

**Лабараторная работа № 2****Вымярэнне ўдзельнай цеплаёмістасці рэчыва**

Мэта: навучыцца вымяраць удзельную цеплаёмістасць рэчыва.

Абсталяванне: тэрмометр лабараторны, каларыметр, мензурка, колба з вадой, вагі, разнавага, металічны цыліндр з ніткай (або кручком) (мал. 288), фільтравальная папера, пасудзіна з кіпнем (адна на клас).

Праверце сябе

1. Што выражае ўдзельная цеплаёмістасць?
2. Ці залежыць удзельная цеплаёмістасць ад масы рэчыва, змянення яго тэмпературы і роду рэчыва?

Ход работы

1. Наліце ў каларыметр 150—180 мл вады пакаёвай тэмпературы. Вымераіце і запішыце ў табліцу тэмпературу t_1 і масу m_1 гэтай вады.

2. Падыдзіце з каларыметрам да стала настаўніка і, атрымаўшы з каструлі з кіпнем цыліндр на нітцы, адразу ж апусціце яго ў каларыметр.

3. На рабочым месцы апусціце ў каларыметр з цыліндрам тэрмометр і, перамяшваючы ім ваду, назірайце за павышэннем яе тэмпературы.



Мал. 288

4. Калі тэмпература вады ў каларыметры перастане расці, запішыце ў табліцу значэнне тэмпературы t_3 , якая канчаткова ўстанавілася.

5. Вызначыце і запішыце змяненне тэмпературы вады $\Delta t_1 = t_3 - t_1$ і змяненне тэмпературы даследуемага цыліндра $\Delta t_2 = t_3 - t_2$, дзе t_2 — тэмпература кіпення вады.

6. Выньце цыліндр з каларыметра і, прамакнуўшы яго фільтравальнай паперай, вызначыце на вагах яго масу m_2 і запішыце ў табліцу.

7. Па формуле $Q_1 = c_1 m_1 (t_3 - t_1)$, дзе c_1 — удзельная цеплаёмістасць вады, роўная $4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$, знайдзіце колькасць цеплаты, атрыманую вадой, і запішыце ў табліцу.

8. Лічачы, што аддадзеная металічным цыліндрам цеплата Q_2 роўна па модулі атрыманай вадой цеплаце Q_1 , выкарыстаўшы формулу $|Q_2| = c_2 m_2 (t_2 - t_3)$, знайдзіце і запішыце ў табліцу ўдзельную цеплаёмістасць рэчыва цыліндра $c_2 = \frac{c_1 m_1 (t_3 - t_1)}{m_2 (t_2 - t_3)}$.

Маса вады m_1 , кг	Тэмпература вады t_1 , $^\circ\text{C}$	Тэмпература кіпення t_2 , $^\circ\text{C}$	Тэмпература вады з цыліндрам t_3 , $^\circ\text{C}$	Маса цыліндра m_2 , кг	Колькасць цеплаты, атрыманая вадой Q_1 , Дж	Колькасць цеплаты, аддадзеная цыліндрам Q_2 , Дж	Удзельная цеплаёмістасць рэчыва c_2 , $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$

Кантрольныя пытанні

1. Якому рэчыву адпавядае вымеранае ў рабоце значэнне ўдзельнай цеплаёмістасці?

2. Як растлумачыць разыходжанне паміж знойдзеным і таблічным значэннямі ўдзельнай цеплаёмістасці рэчыва цыліндра?

Вывады

Суперзаданне

Як, на вашу думку, на дакладнасць атрыманага выніку ўплывае значэнне масы ўзятай для доследу вады?



Лабараторная работа № 3

Зборка электрычнага ланцуга і вымярэнне сілы току ў ім

Мэта: пазнаёміцца з амперметрам; навучыцца збіраць электрычны ланцуг і вымяраць сілу току ў ім.

Абсталяванне: амперметр лабараторны, крыніца току, лямпачка на падстаўцы, рэзістар на панэльцы, рэзістар на трымальніках, ключ, злучальныя правады.

Праверце сябе

1. Што ўяўляе сабой электрычны ланцуг?
2. Якім прыборам і ў якіх адзінках у СІ вымяраецца сіла току?

Ход работы

I. Знаёмства з амперметрам

Разгледзьце ўважліва амперметр і адкажыце на пытанні.

1. Што абазначаюць знакі «+» і «-» каля клем амперметра?
2. Якая цана дзялення яго шкалы? Які найменшы ток можна вымераць гэтым прыборам?
3. Якую максімальную сілу току ім можна вымераць?

II. Зборка ланцуга і вымярэнне сілы току

1. Збярыце электрычны ланцуг згодна з малюнкам 289 і праверце работу ланцуга.

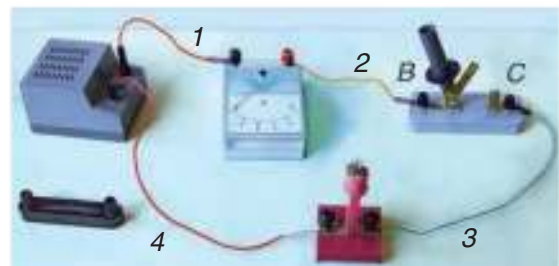
2. Змяніце на процілеглы напрамак току ў ланцугу (прытрымліваючыся палярнасці клем амперметра). Запішыце, як вы гэта зрабілі і як гэта адбілася на сіле току ў ланцугу і на святленні лямпачкі.

3. Намалюйце ў сшытку схему сабранага ланцуга і пакажыце на ёй суцэльнай стрэлкай напрамак току ў ланцугу, а штрыхавой стрэлкай — напрамак руху носыбітаў току.

4. Вымерайце і запішыце сілу току I_1 , што праходзіць паміж клемай «+» крыніцы і ключом. Намалюйце схему ланцуга пры гэтым вымярэнні.

5. Вымерайце і запішыце значэнні сілы току I_3 і I_4 ва ўчастках ланцуга 3 і 4.

6. Зрабіце вывад аб значэнні сілы току ў розных участках простага ланцуга.



Мал. 289

7. Замяніце электралампочку пачаргова рэзістарам на панэльні і рэзістарам на трымальніках. Вымерайце і запішыце значэнні сілы току I' і I'' у іх.

8. Які вывад аб значэнні сілы току можна зрабіць на падставе праведзеных вымярэнняў?

Кантрольныя пытанні

1. Чаму сіла току ў розных участках ланцуга аднолькавая?
2. Ці адаб'ецца на святленні лампачкі выключэнне з ланцуга амперметра? Чаму?
3. Якая колькасць электрычнасці прайшла праз святленне спіралі лампачкі за адну мінуту святлення?

Вывады

Суперзаданне

Перацясніце провад 3 з клеммы С ключа на клему В. Клему ключа, якая вызвалілася, злучыце дадатковым провадам з клеммай «+» крыніцы. Уключыўшы (толькі з дазволу настаўніка!) ланцуг, растлумачце, як і чаму ўплывае становішча ключа на рэжым работы лампачкі і амперметра.



Лабораторная работа № 4

Вымярэнне электрычнага напружання і супраціўлення правадніка

Мэта: пазнаёміцца з вальтметрам і спосабам вымярэння электрычнага напружання; навучыцца вымяраць супраціўленне невядомага рэзістара.

Абсталяванне: крыніца току, лабараторныя амперметр і вальтметр, лампочка на падстаўцы, рэзістар на панэльні, ключ, злучальныя правады.

Праверце сябе

1. Як уключаецца ў ланцуг вальтметр і што ён вымярае?
2. Якую залежнасць выражае закон Ома?

Ход работы

І. Знаёмства з вальтметрам

Разгледзеўшы вальтметр, адкажыце на пытанні.

1. Якая цана дзялення шкалы дадзенага вальтметра?

2. Якое максімальнае і мінімальнае напружанне можна вымяраць дадзеным вальтметрам?

3. Якім павінна быць супраціўленне вальтметра ў параўненні з супраціўленнем амперметра? Чаму яны так моцна адрозніваюцца?

II. Вымярэнне напружання

1. Збярыце ланцуг з крыніцы току, рэзістара на панэльцы, амперметра і ключа (мал. 290, а). Вымерайце сілу току ў рэзістары.

2. Разамкнуўшы ланцуг, дабаўце ў яго вальтметр (паралельна рэзістару). Замкніце ключ і вымерайце напружанне на рэзістары. Намалюйце схему дадзенага ланцуга.

3. Адкажыце на пытанне: як адбіваецца дабаўленне ў ланцуг вальтметра на паказаннях амперметра? Чаму?

III. Вымярэнне супраціўлення правадніка

1. Выкарыстаўшы вынікі папярэдняга доследу, вызначыце супраціўленне рэзістара на панэльцы па формуле $R = \frac{U}{I}$.

2. Знайдзіце на панэльцы пашпартнае значэнне супраціўлення рэзістара і параўнайце яго з атрыманым у доследзе. Зрабіце вывад.

3. Замяніце ў ланцугу рэзістар на панэльцы лямпачкай на падстаўцы і вызначыце апісаным спосабам супраціўленне яе спіралі.

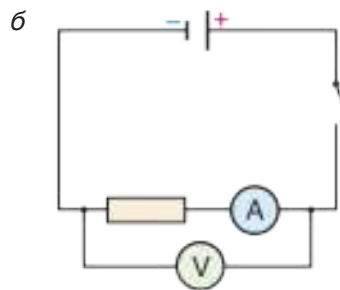
4. Знайдзіце на цокале лямпачкі яе намінальнае напружанне U_n і сілу току I_n і вызначыце яе супраціўленне ў намінальным рэжыме па формуле $R_n = \frac{U_n}{I_n}$.

5. Параўнайце атрыманыя ў п. 3, 4 значэнні супраціўлення і зрабіце вывад.

Вывады

Суперзаданне

Вымерайце супраціўленне рэзістара, прымяніўшы змененую схему (мал. 290, б). Параўнайце вынік з вынікам, атрыманым у п. 1. Ацаніце прымененыя метады (іх вартасці, недахопы).



Мал. 290



Лабараторная работа № 5

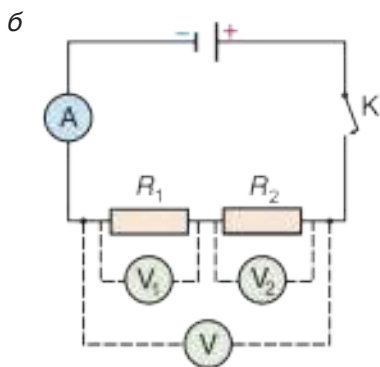
Вывучэнне паслядоўнага злучэння праваднікоў

Мэта: навучыцца збіраць паслядоўны ланцуг і праводзіць у ім вымярэнні; доследным шляхам праверыць заканамернасці такога ланцуга.

Абсталяванне: крыніца току, два розныя рэзістары на панэльках, лабараторны амперметр і вальтметр, ключ, злучальныя праводы.

Праверце сябе

1. Якое злучэнне спажывацоў называюць паслядоўным?
2. Якія галоўныя заканамернасці выконваюцца пры паслядоўным злучэнні спажывацоў?



Мал. 291

Ход работы

1. Не выкарыстоўваючы вальтметр, збярыце ланцуг, паказаны на малюнку 291, а.

2. Вымерайце сілу току ў ланцугу і запішыце ў табліцу. У якім з рэзістараў праходзіць ток такой сілы? Якая сіла току, што праходзіць праз крыніцу?

3. Вымерайце пачаргова напружанне U_1 на першым рэзістары, U_2 на другім і напружанне U на ўчастку з двух рэзістараў, падключыўшы лабараторны вальтметр так, як паказана на схеме штрыхавымі лініямі (мал. 291, б); запішыце вынікі ў табліцу.

4. Выкарыстаўшы атрыманыя вынікі, праверце справядлівасць другой заканамернасці паслядоўнага злучэння спажывацоў (гл. § 24).

5. Выкарыстайце закон Ома да ўчастка з двух праваднікоў. Знайдзіце супраціўленне гэтага ўчастка $R = \frac{U}{I}$ і запішыце ў табліцу.

6. Параўнайце знойдзенае супраціўленне з сумай супраціўленняў R_1 і R_2 (пазначаны на панэльках) і зрабіце вывад.

Сіла току I , А	Напружанне, В			Супраціўленне, Ом			
	U_1	U_2	$U = U_1 + U_2$	R_1	R_2	$R_1 + R_2$	$R = \frac{U}{I}$

Кантрольныя пытанні

1. Чаму паслядоўнае злучэнне спажываецца рэдка выкарыстоўваюць у бытавых электрычных ланцугах?

2. Чаму роўна супраціўленне ўчастка ланцуга, які складаецца з N аднолькавых рэзістараў супраціўленнем R кожны, злучаных паслядоўна?

Вывады

Суперзаданне

Разглядаючы амперметр як трэці праваднік, злучаны паслядоўна з двума рэзістарамі, вымерайце напружанне на ім. Намалюйце ў сшытку схему ланцуга, запішыце вынікі вымярэння і растлумачце іх.



Лабараторная работа № 6

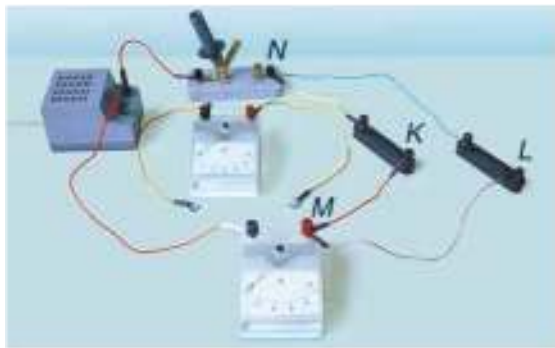
Вывучэнне паралельнага злучэння праваднікоў

Мэта: навучыцца збіраць ланцуг з паралельным злучэннем і праводзіць у ім вымярэнні; доследным шляхам праверыць выкананне заканамернасцей такога ланцуга.

Абсталяванне: крыніца току, два розныя рэзістары на панэльках, амперметр, вальтметр, ключ, злучальныя правады.

Праверце сябе

1. Якое злучэнне спажываецца называюць паралельным?
2. Якія галоўныя заканамернасці выконваюцца пры паралельным злучэнні спажываецца?



Мал. 292

Ход работы

I. Зборка электрычнага ланцуга і вымярэнне яго асноўных параметраў

1. Збярыце ланцуг згодна з малюнкам 292, не ўключаючы вальтметр. Запішыце ў табліцу паказанні амперметра I . Ці можна сцвярджаць, што ток названай сілы праходзіць у кожным рэзістары?

2. Падключыце вальтметр да пунктаў M і N , намалюйце поўную схему ў сшытку. Напружанне на якім з рэзістараў вымярае вальтметр?

3. Прымяніўшы закон Ома да разгалінаванага ўчастка MN , знайдзіце яго супраціўленне $R_{MN} = \frac{U}{I}$.

II. Праверка заканамернасцей паралельнага злучэння

1. Вызначыце па надпісах на панэльках і запішыце ў табліцу супраціўленні рэзістараў R_1 і R_2 ; па формуле $R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$ разлічыце і запішыце ў табліцу супраціўленне разгалінаванага ўчастка.

2. Параўнайце разлічанае значэнне з супраціўленнем участка R_{MN} , атрыманым у выніку вымярэнняў. Зрабіце вывад.

3. Выдаліце з ланцуга вальтметр і амперметр. Падключыце амперметр паміж пунктамі M і K ; вымерайце і запішыце ў табліцу сілу току I_1 у рэзістары R_1 , а затым, уключыўшы амперметр паміж пунктамі M і L , вымерайце і запішыце ў табліцу сілу току I_2 у рэзістары R_2 .

4. Выкарыстаўшы атрыманыя значэнні I_1 і I_2 для сілы току, а таксама значэнне сілы току I ў неразгалінаваным участку ланцуга, дакажыце справядлівасць другой заканамернасці паралельнага злучэння (гл. § 25).

Сіла току, А				Напружанне, В			Супраціўленне, Ом			
I	I_1	I_2	$I_1 + I_2$	U_{MN}	U_1	U_2	$R_{MN} = \frac{U}{I}$	R_1	R_2	$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$

Кантрольныя пытанні

1. Як злучаюць (паслядоўна або паралельна) спажывыцы ў кватэрнай праводцы? Чаму?
2. Чаму роўна супраціўленне ўчастка ланцуга з N аднолькавых рэзістараў супраціўленнем R кожны, злучаных паралельна?
3. Чаму паралельнае далучэнне да ўчастка ланцуга дадатковага рэзістара памяншае супраціўленне ўчастка?

Вывады

Суперзаданне

Як пераносам толькі аднаго проваду з клеммы на клему ператварыць дадзенае паралельнае злучэнне (гл. мал. 292) у паслядоўнае? Якую ролю ў такім змененым ланцугу адыгрывае ключ?



Лабараторная работа № 7

Вымярэнне фокуснай адлегласці і аптычнай сілы лінзы

Мэта: вывучыць праламленне святла ў розных лінзах; вымераць характарыстыкі збіральнай лінзы.

Абсталяванне: збіральная (№ 1) і расейвальная (№ 2) лінзы на падстаўках, крыніца току, лямпачка на падстаўцы, ключ, злучальныя правады, экран, мерная стужка (мал. 293). (Работа праводзіцца ў нападцацземненым кабінце.)



Мал. 293

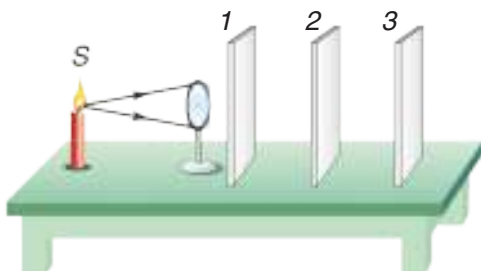
Праверце сябе

1. Што такое фокус лінзы?
2. Як праламляюць светлавые прамені збіральная і расейвальная лінзы?

Ход работы

I. Знаёмства з рознымі відамі лінзаў

1. Падключыце лямпачку да крыніцы току і змясціце яе на адлегласці 20—25 см ад лінзы № 1.



Мал. 294

2. Устанавіце непасрэдна за лінзай экран (мал. 294, становішча 1).

3. Павольна адсоўвайце экран ад лінзы (становішчы 2, 3 і г. д.) да адлегласці прыкладна 50 см і па дыяметры светлай плямы на экране назірайце, што адбываецца са светлавым пучком пасля праламлення ў лінзе. Якім (сходным або разыходным) з'яўляецца пучок, што прайшоў праз лінзу?

4. Намалуйце ў сшытку прыкладны ход праменяў светлагага пучка пасля лінзы. Што вы бачыце ў самым вузкім месцы пучка?

5. Паўтарыце ўсе дзеянні (п. 2—4) з лінзай № 2. Вызначыце, якая з лінзаў з'яўляецца збіральнай, а якая — рассеивальнай.

II. Вымярэнне фокуснай адлегласці і аптычнай сілы лінзы

1. Атрымайце на экране відарыс якога-небудзь далёкага прадмета (лямпачкі на стале настаўніка, вулічных аб'ектаў, бачных праз няшчыльна закрытую штору акна). З-за значнай аддаленасці прадмета прамені, што ідуць да лінзы № 1 ад кожнага яго пункта, можна лічыць паралельнымі адзін аднаму, г. зн. відарыс прадмета атрымліваецца ў фокальнай плоскасці.

2. Вымерайце адлегласць ад лінзы № 1 да экрана і запішыце значэнне фокуснай адлегласці F . Які вынік (завышаны або заніжаны) дае нам выкарыстаны метада? Чаму?

3. Па знойдзеным значэнні фокуснай адлегласці F вылічыце велічыню аптычнай сілы D лінзы.

Кантрольныя пытанні

1. Чаму адлегласць ад лінзы № 1 да відарыса далёкага прадмета можна лічыць прыкладна роўнай фокуснай?

2. Ці можна атрымаць пучок паралельных праменяў пасля праходжання праз збіральную лінзу?

3. Чаму аптычную сілу рассеивальнай лінзы лічаць адмоўнай?

Вывады

Суперзаданне

Вызначыце, якая з выкарыстаных лінзаў (збіральная або рассеивальная) мае большую па модулі аптычную сілу.

АДКАЗЫ ДА ПРАКТЫКАВАННЯЎ

Практыкаванне 5. 2. $Q = 0,36$ МДж. 3. $c = 0,25 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$ (волава або серабро). 4. $V_1 = 50$ мл. 5. $c = 4,2 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$ (вада). 6. $c_{\text{III}} > c_{\text{II}} > c_{\text{I}}$. 7. $t_2 = 82$ °С. 8. $m_{\text{ц}} = 8,0$ кг.

Практыкаванне 6. 3. Торф або драўняныя цуркі. 5. $q_{\text{I}} = 15 \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$ (торф або драўняныя цуркі); $q_{\text{II}} = 30 \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$ (драўняны вугаль, каменны вугаль маркі А-II або кокс); $\frac{Q_{\text{II}}}{Q_{\text{I}}} = 2$. 6. $Q = 218$ МДж; I — мазут, II — бензін. 7. $m_{\text{п}} = 0,60$ г. 8. $m_{\text{д}} = 0,15$ г.

Практыкаванне 7. 3. $Q = 78$ кДж. 4. $\lambda_{\text{I}} = 2,0 \cdot 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ (медзь); $\lambda_{\text{II}} = 6,7 \cdot 10^4 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ (золата); $Q = 1,3 \cdot 10^5$ Дж. 5. $Q = 1,1$ МДж. 6. $t = 84$ °С. 7. $m_2 = 2,2$ кг. 8. $m_2 = 38$ кг. 9. $m_3 = 1,3$ г. 10. $m_{\text{с}} = 0,27$ т. 11. $\Delta h = 1$ мм. 12. $m_3 = 50$ г. 13. $m_{\text{л}} = 0,70$ кг.

Практыкаванне 9. 7. $L = 352 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ (эфір). 8. а) $Q_1 = 4,5$ МДж; б) $Q_2 = 5,2$ МДж. 9. $L = 2,1 \cdot 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ (паветра); $Q = 6,3 \cdot 10^5$ Дж. 10. $m_{\text{л}} = 0,16$ кг. 13. $m_3 = 34$ г. 14. $m_3 = 1,2$ кг.

Практыкаванне 12. 2. $N = 4,0 \cdot 10^8$. 3. $N = 4,6 \cdot 10^{12}$. 4. $q = 4,8 \cdot 10^{-16}$ Кл.

Практыкаванне 13. 5. $A = 8$ нДж. 6. $U = 15$ В. 7. $P = 0,59$ кВт. 8. $U = 0,18$ мВ.

Практыкаванне 14. 3. $q = 9,0$ кКл; $N = 5,6 \cdot 10^{22}$. 4. $I = 0,16$ А. 5. $I = 1,5$ мкА. 6. $q = 1,5$ Кл. 9. $I = 0,2$ А.

Практыкаванне 15. 1. $R = 4$ Ом. 2. $I = 2$ мА. 3. $U = 1,2$ В. 4. $R = 10$ Ом. 5. $R = 5$ Ом. 6. $U = 84$ мВ. 7. $l = 12$ м. 9. $l_1 = 0,9$ м. 10. $R = 2,2$ Ом. 11. $R = 32$ Ом.

Практикаванне 16. 1. $R = 1,1 \text{ кОм}$. 2. $R_{\pi} = 24 \text{ Ом}$; $I_1 = I_2 = 0,5 \text{ А}$; $U_1 = 4,0 \text{ В}$; $U_2 = 8,0 \text{ В}$. 3. $I = 1,0 \text{ А}$; $U_1 = 8,0 \text{ В}$; $U_2 = 4,0 \text{ В}$. 4. $R_2 = 12 \text{ Ом}$. 5. $R = 1 \text{ Ом}$. 6. $I_1 = 0,25 \text{ А}$; $I_2 = 0,38 \text{ А}$; $I_3 = 0,30 \text{ А}$.

Практикаванне 17. 1. $R = 120 \text{ Ом}$. 2. $R_{\text{пасл}} = 0,32 \text{ кОм}$. 3. $R_2 = 80 \text{ Ом}$. 4. $I_A = I_D = 5 \text{ мА}$; $I_B = 3 \text{ мА}$; $I_C = 2 \text{ мА}$.

Практикаванне 18. 1. $A = 0,24 \text{ кДж}$; $P = 60 \text{ Вт}$. 2. $A = 0,65 \text{ Дж}$. 3. $A = 0,29 \text{ МДж}$; $P = 1,2 \text{ кВт}$. 4. $P = 1,6 \text{ кВт}$; $I_1 = 7,3 \text{ А}$; $R_2 = 7,5 \text{ Ом}$. 5. $t = 1 \text{ г}$. 6. $t = 23 \text{ с}$. 7. а) У першай; б) у другой.

Практикаванне 21. 4. $H = 5 \text{ м}$.

Практикаванне 22. 6. $\varphi_1 = 64^\circ$ (да гарызонту). 7. $\Delta\varphi = 20^\circ$.

Практикаванне 26. 4. $\frac{H}{h} = 3$; $D = 6,7 \text{ дптр}$.

ПРАДМЕТНЫ ПАКАЗАЛЬНІК

- Ампер 79
 Аптычная сіла лінзы 146
 Аптычны цэнтр лінзы 144
 Вальтметр 73
 Вугал адбіцця 132
 — падзення 132
 — праламлення 140
 Выпарэнне 40
 Выпраменьванне 18
 Галоўны фокус лінзы 145
 Гарэнне 30
 Дыэлектрык 56
 Дыяптрыя 146
 Закон Джоўля — Ленца 103
 — Ома для ўчастка ланцу-
 га 86
 — прамалінейнага распаў-
 сюджвання святла 123
 Законы адбіцця святла 133
 Зарад адмоўны 54, 64
 — дадатны 54, 64
 — электрычны 64
 Злучэнне праваднікоў пара-
 лельнае 98
 — — паслядоўнае 94
 Іон 68
 Кандэнсацыя 44
 Канвекцыя 16
 Кіпенне 44
 Колькасць цеплаты 9
 Крыніца току 81
 Крыніцы святла 124
 Крышталізацыя 33
 Кулон 65, 79
 Лінза 144
 — збіральная 145
 — рассеивальная 145
 Магніт 110
 Магнітнае поле 114
 — — прамога правадні-
 ка 119
 — — шпулі з токам 120
 Магутнасць току 102
 Нейтрон 68
 Ом 88
 Параўтварэнне 40
 Плаўленне 32
 Праваднік 56
 Пратон 68
 Работа току 102
 Светлавы прамень 126
 Сіла току 79
 Скорасць святла 128
 Супраціўленне 86
 Тэмпература кіпення 45, 46
 — плаўлення 32, 33
 Удзельнае супраціўленне рэчы-
 ва 89, 90

Удельная теплотворная способность 22, 24

— теплота парообразования 46

— — сгорания топлива 28, 29

— — плавления 33, 36

Внутренняя энергия 6

Уравнение теплового баланса 23

Факельная плоскость 145

Фокус 145

Теплопередача 9

Теплопроводность 13

Электромагнит 120

Электроскоп 54

Электрометр 54

Электрон 64, 68

Электризация 61

Электрическое напряжение 71

Ядро атома 68

Дадатак

Малюнкi, пазначаныя знакам , можна «ажывіць» (ператварыць у відэаролік) пры дапамозе смартфона або планшэта. Для гэтага вам спатрэбяцца праграма HP Reveal і доступ у Інтэрнэт.

HP Reveal працуе на смартфонах і планшэтах з аперацыйнай сістэмай Android 4.0 і вышэй, iOS 8.0 і вышэй. На работу праграмы ўплываюць прадукцыйнасць працэсара і скорасць Інтэрнэт-злучэння. Праграма патрабуе, каб зарад акумулятара перавышаў 15 %.

HP Reveal загружае вялікі аб'ём інфармацыі, таму выхад у Інтэрнэт лепш здзяйсняць праз WiFi.

Каб устанавіць праграму HP Reveal на смартфон або планшэт з аперацыйнай сістэмай Android, неабходна:

1) адкрыць Play Market  і набраць у пошуку HP Reveal;

2) выбраць дадатак HP Reveal .

У акне, што адкрыецца, націснуць кнопку **УСТАНОВИТЬ → ПРИНЯТЬ**;

3) пасля ўстаноўкі націснуць кнопку **ОТКРЫТЬ**. Правесці пальцам па экране справа налева некалькі разоў;

4) калі з'явіцца экран рэгістрацыі, націснуць **SIGN UP**, набраць імя карыстальніка (Username), пароль (Password), націснуць кнопку **JOIN** (мал. 295);

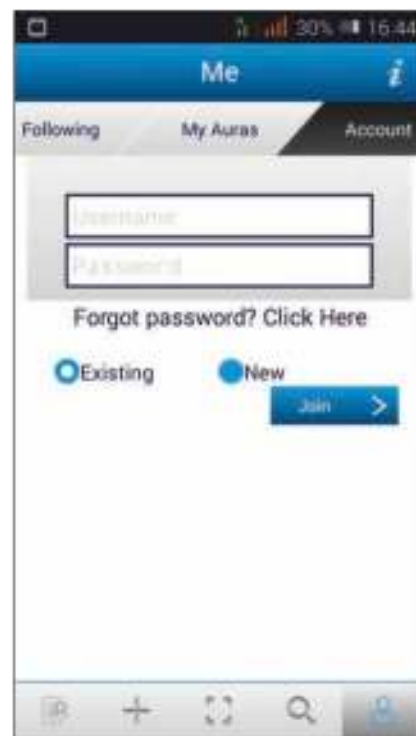
5) у радку меню



націснуць кнопку  і набраць у радку пошуку physics8;

6) націснуць  → **FOLLOW** →

→ .



Мал. 295

Цяпер праграмай можна карыстацца. Навядзіце камеру на малюнак, пазначаны знакам , так, каб малюнак цалкам змясціўся на экране, і крыху пачакайце, не рухаючы смартфон або планшэт. Кругі ў цэнтры павінны змяніць форму. Такім чынам праграма паведамляе, што распазнала малюнак, відэаматэрыял можна будзе паглядзець праз некалькі секунд. Для таго каб разгарнуць відэаролік, дакраніцеся да яго.

Відэаролікі доследаў размешчаны таксама на нацыянальным адукацыйным партале <http://adu.by>.

Вучэбнае выданне

Ісачанкава Ларыса Арцёмаўна
Ляшчынскі Юрый Дзмітрыевіч
Дарафейчык Уладзімір Уладзіміравіч

ФІЗІКА

Вучэбны дапаможнік для 8 класа
ўстаноў агульнай сярэдняй адукацыі
з беларускай мовай навучання

Заг. рэдакцыі *Г. А. Бабаева*. Рэдактар *Н. М. Алганава*. Мастацкі рэдактар *А. І. Рэзановіч*.
Тэхнічнае рэдагаванне і камп'ютарная вёрстка *Л. І. Шаўко*. Карэктары *В. С. Казіцкая*,
А. П. Тхір, *В. С. Бабеня*, *Г. В. Алешка*.

Падпісана да друку 01.06.2018. Фармат $84 \times 108^{1/16}$. Папера афсетная. Гарнітура школь-
ная. Друк афсетны. Ум. друк. арк. 18,48+0,42 форз. Ул.-выд. арк. 10,77+0,73 форз.
Тыраж 16 000 экз. Заказ .

Выдавецкае рэспубліканскае ўнітарнае прадпрыемства «Народная асвета» Міністэрства
інфармацыі Рэспублікі Беларусь. Пасведчанне аб дзяржаўнай рэгістрацыі выдаўца,
вытворцы, распаўсюджвальніка друкаваных выданняў № 1/2 ад 08.07.2013.
Пр. Пераможцаў, 11, 220004, Мінск, Рэспубліка Беларусь.

ААТ «Паліграфкамбінат імя Я. Коласа».

Пасведчанне аб дзяржаўнай рэгістрацыі выдаўца, вытворцы,
распаўсюджвальніка друкаваных выданняў № 2/3 ад 04.10.2013.
Вул. Каржанеўскага, 20, 220024, Мінск, Рэспубліка Беларусь.

Правообладатель Народная асвета

(Назва і нумар установы адукацыі)

Навучальны год	Імя і прозвішча навучэнца	Стан вучэбнага дапаможніка пры атрыманні	Адзнака навучэнцу за карыстанне вучэбным дапаможнікам
20 /			
20 /			
20 /			
20 /			
20 /			

ТЭМПЕРАТУРЫ НЕКАТОРЫХ ФІЗІЧНЫХ
ПРАЦЭСАЎ І АБ'ЕКТАЎ

СКОРАСЦЬ СВЯТЛА
Ў РОЗНЫХ АСЯРОДДЗЯХ (пры 20 °С)

ТЭМПЕРАТУРА (°C)		СКОРАСЦЬ (км/с)
-272,999988	Мінімальная, дасягнутая эксперыментальна	У вакууме 299792
-268,93	Кіпення гелію	
-160	Найменшая, вымераная на паверхні Месяца	У паветры (пры нармальных умовах) 299705
да -83	Паветра на вышыні 20 км	У вадзе (прэснай) 225408
+28,5	Плаўлення цэзію	У этылавым спірце 220435
+1600—1800	Полымя газавай гарэлкі	
+2500—3300	Ніці мініяцюрнай лямпы напальвання	У алеінавай кіслаце 205337
+6000	Паверхні Сонца	У гліцэрыне 203940
+10 000—20 000	Тэрмічнай іанізацыі атамаў	У шкле (залежыць ад саставу шкла) 199861—157785
$+10^7$ і вышэй	Тэрмаядзернай рэакцыі	
$+10^8$ і вышэй	У эпіцэнтры выбуху вадароднай бомбы	У крышталічным кварцы 194670
$+10^8$ і вышэй	Высокатэмпературнай плазмы	У алмазе 123881