



§ 8.

Плаўленне і крышталізацыя

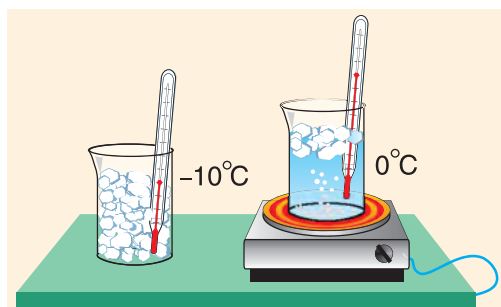
Пры цеплаабмене ўнутраная энергія цела змяняецца. Часцей за ўсё гэта праяўляецца ў змяненні яго тэмпературы. Пры гэтым аграгатны стан рэчыва застаецца ранейшым. Аднак існуюць працэсы, пры якіх унутраная энергія рэчыва пры атрыманні цеплаты павялічваецца, а тэмпература застаецца пастаяннай.

Да такіх працэсаў адносяцца *плаўленне і крышталізацыя* (зацверджванне). 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. 51). 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. 52). 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, якую атрымлівае лёд? Назіранні паказваюць, што крышталічны лёд ператвараецца ў вадку.

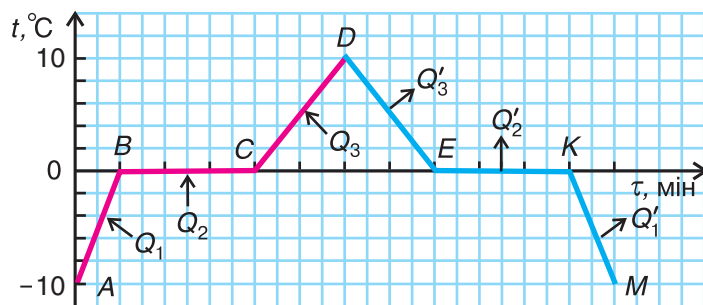
Працэс пераходу рэчыва з цвёрдага стану ў вадкі называецца плаўленнем.

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. 51



Мал. 52

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 , °C	Удзельная цеплата плаўлення λ , $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$	Рэчыва	Тэмпература плаўлення t , °C	Удзельная цеплата плаўлення λ , $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$
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	$84\,000 = 8,4 \cdot 10^4$	Ртуць	-39	$11\,800 = 1,18 \cdot 10^4$
Медзь	1085	$210\,000 = 2,10 \cdot 10^5$	Спірт	-114	$11\,000 = 1,10 \cdot 10^4$
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 , мал. 52). 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. Будзем лічыць, што графік залежнасці тэмпературы ад часу ў выпадку ахаладжэння будзе сіметрычным графіку ў выпадку награвання. Вада спачатку астывае да 0 °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 °C . Вада ператвараецца ў лёд. Цеплата Q'_2 вылучаецца, $|Q'_2| = Q_2$. Участак KM (мал. 52) 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 (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» прымяняюцца 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 (гл. мал.) і павелічэнне цякучасці. Прычына такіх паводзін узгаданых рэчываў (іх называюць аморфнымі) у адсутнасці ў іх будове ўпарадкаванага размяшчэння часціц.



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



Мал. 53

Тэмпературу плаўлення даводзіцца ўлічваць пры стварэнні бытавой і прамысловай тэхнікі. Спіралі лямпачак, награвальных элементаў (мал. 53) робяць з тугаплаўкіх матэрыялаў. У самалётбудаванні, ракетнай і касмічнай прамысловасці выкарыстоўваюць матэрыялы з высокай тэмпературай плаўлення. Растлумачце прычыну гэтага.

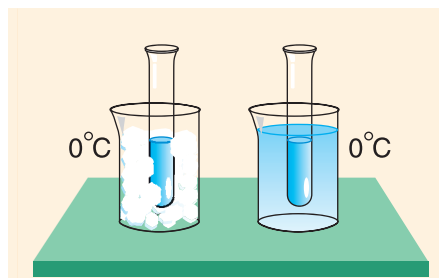
Тэмпературу плаўлення адных рэчываў можна змяніць, змяшаўшы іх з іншымі. Так, дадаўшы кухонную соль да лёду, можна атрымаць сумесь з тэмпературай плаўлення $-21\text{ }^{\circ}\text{C}$. Гэту ўласцівасць актыўна выкарыстоўваюць дарожныя службы, пасыпаючы зімой вуліцы сумессю пяску і солі.

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. У дачыненні да якіх рэчываў прымяняюцца тэрміны «тэмпература плаўлення» і «тэмпература крышталізацыі»?
3. Як растлумачыць пастаянства тэмпературы пры плаўленні рэчыва? На што расходуюцца энергія, якая пры гэтым 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 хлэй, 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 54? Чаму?



Мал. 54

→ Дамашняе заданне

Запаліце свечку і назірайце пераход воску з цвёрдага стану ў вадкі. Растлумачце 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. 52 на с. 32, 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 у 2 разы больш энергіі (цеплаты) Q . А калі маса цела роўна m ? Відавочна, для пераходу ў вадкі стан цела павінна атрымаць у m разоў больш цеплаты Q , г. зн.

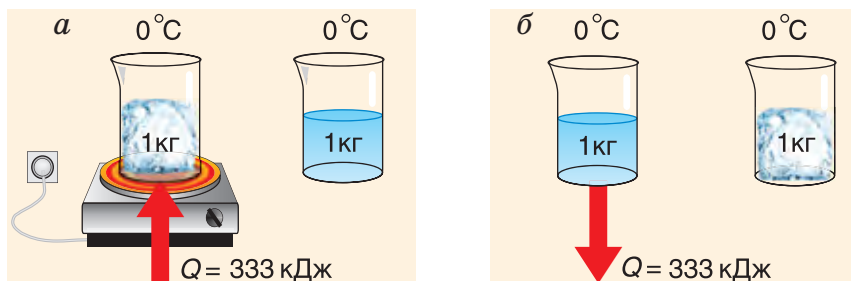
$$Q = \lambda m.$$

З гэтай формулы вынікае, што ўдзельная цеплата плаўлення вызначаецца, як

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

У СІ асноўнай 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 (гл. с. 33) 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 цеплаты. Шмат цеплаты для плаўлення масы $m = 1$ кг патрабуецца лёду — $\lambda = 333\,000 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ (мал. 55, а). Але пры замярзанні пры тэмпературы $t = 0^\circ\text{C}$ столькі ж цеплаты вылучае кожны кілаграм вады (мал. 55, б).



Мал. 55

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 вадаёмаў вылучаецца вялікая колькасць цеплаты, што робіць больш цёплым надвор'е позній восенню. Гэта прычына абумоўлівае ўмераны клімат у Беларусі.



Мал. 56

Вялікая ўдзельная цеплата плаўлення лёду і недастатковасць сонечнага цяпла садзейнічалі ператварэнню Антарктыды ў халодны лядовы кантынент. Але суровыя ўмовы надвор'я не з'яўляюцца перашкодай для вывучэння Антарктыды. Пачынаючы з 2006 г. вучоныя Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі (мал. 56) праводзяць на ледзяным мацерыку навуковыя даследаванні па розных напрамках: маніторынг азо-навага слоя, біялагічныя даследаванні і іншыя.

Галоўныя вывады

1. Пры пераходзе 1 кг рэчыва з цвёрдага стану ў вадкі пры тэмпературы плаўлення паглынаецца колькасць цеплаты, лікава роўная ўдзельнай цеплаце плаўлення. Роўна столькі ж цеплаты вылучаецца пры пераходзе 1 кг рэчыва з вадкага стану ў цвёрды.
2. 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 $\lambda = 60\,300 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ »?
4. Ці правільнае сцверджанне: «Удзельная цеплата плаўлення прама прапарцыянальна колькасці цеплаты і адваротна прапарцыянальна масе цела»? Чаму?