

§ 7. Будова і ўласцівасці цвёрдых цел

У пайсядзённым жыцці мы лічым цвёрдым любое цела, якое захоўвае форму і аб'ём пры адсутнасці знешніх уздзеянняў, напрыклад целы, вырабленыя з металаў, пластмасы, лёду, шкла. Цвёрдыя целы падзяляюць на дзве групы, якія адрозніваюцца па сваіх уласцівасцях: крышталічныя і аморфныя. У чым адрозненне паміж крышталічнымі цвёрдымі цэламі і аморфнымі?

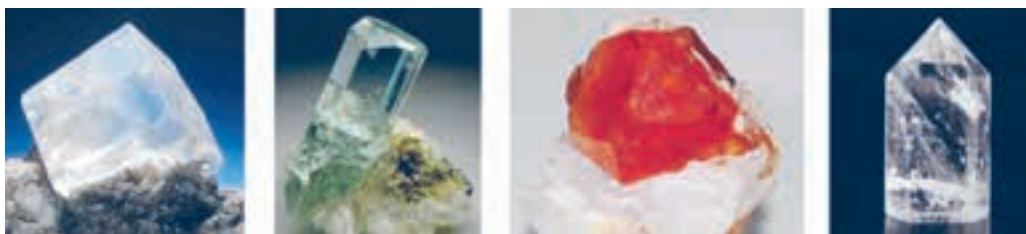
Крышталі. Да крышталічных цел адносяць мінералы, напрыклад павараную соль, медны купарвас, кварц, галын (мал. 40), горны хрусталь і металы ў цвёрдым стане.



Мал. 40

Крышталі — цвёрдыя целы, атамы, іоны або малекулы якіх выконваюць цэплавая ваганні каля пэўных, упарадкаваных у прасторы становішчаў раўнавагі.

Упарадкаванае размяшчэнне часціц цвёрдага крышталічнага цела абумоўлівае яго правільную геаметрычную форму, у выніку чаго паверхня крышталя ўтворана плоскімі гранямі (мал. 41).



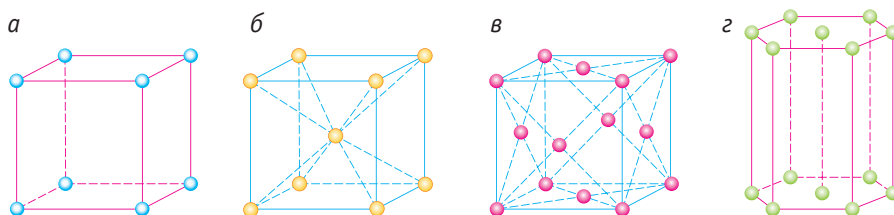
Мал. 41

Часціцы крышталя ўтрымліваюцца на пэўнай усярэдняй адлегласці адна ад адной ($\sim 0,1$ нм) сіламі міжатамнага і міжмалекулярнага ўзаемадзеянняў. Нягледзячы на цэплавая ваганні, яны ўтвараюць упарадкаваную прасторавую

структуру. Геаметрычнай выявай гэтай структуры з'яўляецца *крышталічная рашотка*. *Вузлы крышталічнай рашоткі* — гэта становішчы ўстойлівай раўнавагі, адносна якіх вагаюцца часціцы (іоны, атамы або малекулы), што ўтвараюць крышталі.

Асновай будовы крышталі з'яўляецца так званая *элементарная крышталічная ячэйка* — шматграннік найменшых памераў, паслядоўным пераносам без змены арыентацыі якога разам з часціцамі, што знаходзяцца ўнутры гэтага шматгранніка, можна пабудаваць увесь крышталі.

На малюнку 42 паказаны самыя простыя элементарныя ячэйкі: кубічныя (*a* — прымітыўная, *b* — аб'ёмна-цэнтраваная, *в* — гранецэнтраваная) і гексаганальная прызма (*г*).



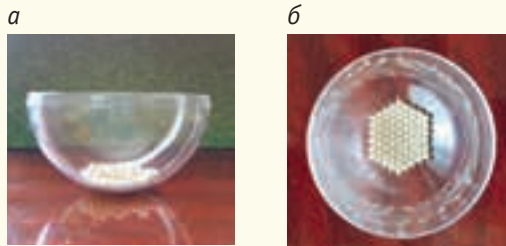
Мал. 42

У крышталічных цэлах упарадкаванае размяшчэнне часціц паўтараецца ва ўсім аб'ёме крышталі, таму гавораць, што ў крышталі існуе *далёкі парадак* у размяшчэнні часціц.

Цікава ведаць

Каб зразумець, чаму ў крышталічных цэлах існуе ўпарадкаванае размяшчэнне часціц, правядзём дослед. Насыплем на ўвагнутае шкло аднолькавыя маленькія шарыкі (мал. 43, *a*) і злёгка страсянем іх некалькі разоў. Можна ўбачыць, што шарыкі размесцяцца на шкле ў строгім парадку (мал. 43, *б*). Шарыкі знаходзяцца ў самым нізкім з магчымых становішчаў, што адпавядае мінімуму іх патэнцыяльнай энергіі ў гравітацыйным полі Зямлі.

Крышталічная структура таксама звязана з мінімумам патэнцыяльнай энергіі, гэта значыць, што пры ўтварэнні крышталі часціцы самаадвольна размяшчаюцца так, каб патэнцыяльная энергія іх узаемадзеяння была мінімальнай.



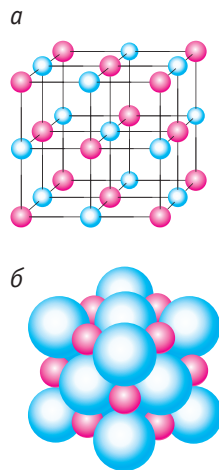
Мал. 43

Тыпы крышталёў. У залежнасці ад віду часціц, якія ўтвараюць крыштал, і ад характару сіл узаемадзеяння паміж імі адрозніваюць чатыры асноўныя тыпы крышталёў.

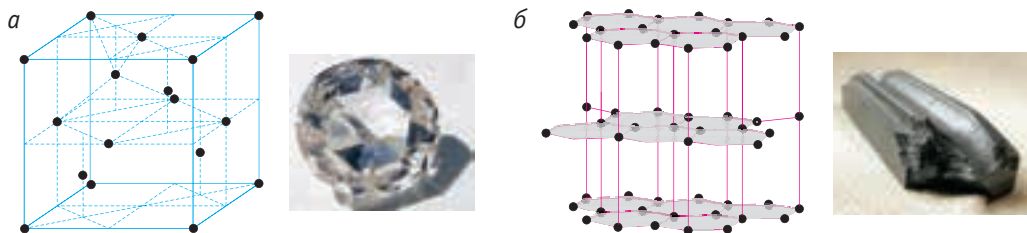


Тыповым прыкладам іоннага крышталю з'яўляецца крыштал хларыду натрыю NaCl (мал. 44, *а*, *б*). Крышталі з іоннай рашоткай тугаплаўкія і маюць высокую цвёрдасць.

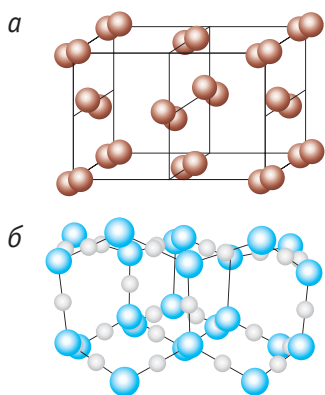
Прыклады атамных крышталёў — алмаз і графіт. Гэтыя крышталі тоесныя па хімічнай прыродзе (яны складаюцца з атамаў вугляроду), але адрозніваюцца па сваёй будове (мал. 45). У крышталічнай рашотцы алмазу кожны атам вугляроду знаходзіцца ў цэнтры тэтраэдра, вяршынямі якога з'яўляюцца чатыры найбліжэйшыя атомы, і трывала звязаны з гэтымі атамамі праз аб'яднанне валентных электронаў (мал. 45, *а*). Менавіта такой моцнай сувяззю і абумоўлена ўнікальная цвёрдасць алмазу. Крышталічная рашотка графіту мае слаістую структуру (мал. 45, *б*). Атамныя слаі графіту слаба звязаны адзін з адным, бо адлегласць



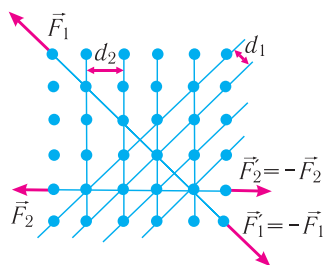
Мал. 44



Мал. 45



Мал. 46



Мал. 47

паміж імі ў некалькі разоў большая, чым адлегласць паміж суседнімі атамамі ў адным слоі. Гэтым абумоўлена тое, што слаі могуць лёгка аддзяляцца адзін ад аднаго, чым і тлумачыцца мяккасць і крохкасць графіту.

Прыкладамі крышталёў з металічнай крышталічнай рашоткай з'яўляюцца палоній Po (гл. мал. 42, а), жалеза Fe (гл. мал. 42, б), серабро Ag (гл. мал. 42, в), магній Mg (гл. мал. 42, г).

Малекулярныя крысталі ўтвараюць большасць простых рэчываў неметалаў у цвёрдым стане, напрыклад ёд I₂ (мал. 46, а), вадарод H₂, кісларод O₂, і іх злучэнні адзін з адным (лёд H₂O) (мал. 46, б), а таксама практычна ўсе цвёрдыя арганічныя рэчывы.

Монакрысталі і полікрысталі. Існуюць адзінкавыя крысталі, якія называюць монакрысталіямі. Яны могуць мець даволі значныя памеры. Сустрэкаюцца крысталі горнага хрусталоў, памеры якіх сувымерныя з ростам чалавека.

Монакрысталі — цвёрдыя целы, якія маюць ва ўсім аб'ёме адзіную крышталічную рашотку.

Характэрнай асаблівасцю монакрышталёў з'яўляецца іх *анізатрапія*, гэта значыць залежнасць фізічных уласцівасцей (механічных, цеплавых, электрычных, аптычных) ад напрамку ўнутры крышталю. Анізатрапія монакрышталёў абумоўлена адрозненнем у шчыльнасці размяшчэння часціц у крышталічнай рашотцы па розных напрамках. На малюнку 47 паказана, што адлегласці паміж атамнымі плоскасцямі ў крышталі неаднолькавыя ($d_1 < d_2$). Таму, у прыватнасці, будуць адрознівацца і сілы, неабходныя для яго разрыву ($F_1 > F_2$). Напрыклад, кавалак слюды даволі лёгка раслаіцца ў адным з напрамкаў на тонкія пласцінкі, але для таго, каб разарваць яго ў напрамку, які перпендыкулярны пласцінкам, спатрэбяцца вельмі значныя намаганні.

Цікава ведаць

Анізатрапія ўласцівая некаторым матэрыялам біялагічнага паходжання. Напрыклад, касцявым і мышачным тканкам чалавека і жывёл. Ёю валодаюць таксама драўніна і лісце, трава і інш.

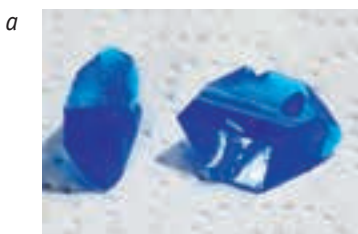
Большасць крышталічных цвёрдых цел з'яўляюцца *полікрышталямі*.

Полікрышталі — цвёрдыя целы, што складаюцца з вялікай колькасці маленькіх крышталёў, якія зрасліся паміж сабой.

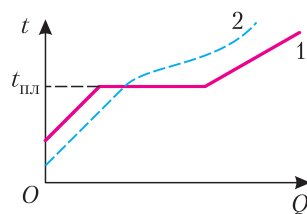
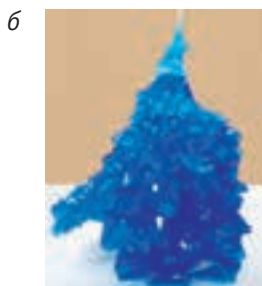
У адрозненне ад монакрышталёў полікрышталі *ізатропныя*, гэта значыць іх уласцівасці аднолькавыя па ўсіх напрамках. Гэта вынік таго, што полікрышталі складаецца з вялікай колькасці хаатычна арыентаваных маленькіх монакрышталёў.

Вы самі можаце ў хатніх умовах вырасціць монакрышталі (мал. 48, а) і полікрышталі (мал. 48, б) меднага купарвасу (сульфату медзі(II) CuSO_4).

Крышталічныя целы маюць пэўную тэмпературу плаўлення $t_{\text{пл}}$, якая не змяняецца ў працэсе плаўлення пры пастаянным ціску. Залежнасць тэмпературы крышталічнага цела ад атрыманай ім колькасці цеплаты паказана на малюнку 49, графік 1.



Мал. 48



Мал. 49

Ад тэорыі да практыкі

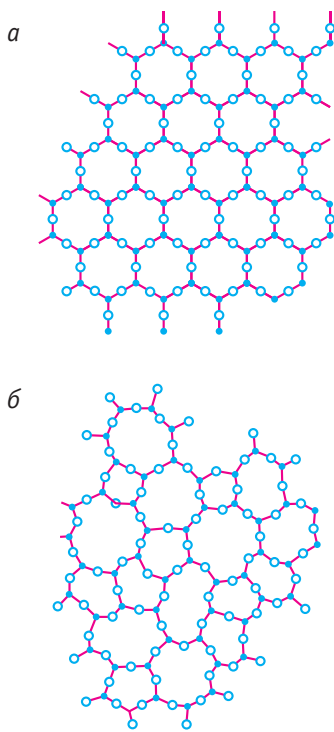
1. Чаму шар, выраблены з монакрышталя, пры награванні змяняе не толькі свой аб'ём, але і форму?

2. Ці будзе пры награванні шара, вырабленага са сталі, змяняцца не толькі аб'ём, але і форма?

Аморфныя целы. Да аморфных (ад грэч. *amorphous* — бясформенны) цел адносяць апал, абсідыян, эбаніт, сургуч (мал. 50), шкло, розныя пластмасы, смолы (вар, каніфоль, бурштын) і інш.



Мал. 50



Мал. 51



Аморфны стан — цвёрды некрышталічны стан рэчыва, які характарызуецца ізатрапіяй уласцівасцей і адсутнасцю пэўнай тэмпературы плаўлення.

Залежнасць тэмпературы аморфнага цела ад атрыманай ім колькасці цеплаты паказана на малюнку 49, графік 2. Пры павышэнні тэмпературы аморфнае рэчыва размякчаецца і паступова пераходзіць у вадкі стан. У аморфным стане адсутнічае строгі парадак у размяшчэнні атамаў і малекул. Аморфны стан — бяспарнасны стан са слаба выяўленай цяжкасцю.

Аморфныя целы называюць пераахладжанымі вадкасцямі, бо ў іх, як і ў вадкасцях, існуе толькі блізкі парадак размяшчэння часціц.

На малюнках 51 схематычна паказана будова крышталічнага кварцу (мал. 51, *a*) і аморфнага кварцу (мал. 51, *б*).

Аморфныя целы пры пэўных умовах могуць крышталізавацца. Цукар-пясок з'яўляецца крышталічным целам (мал. 52, *a*). Калі яго расплавіць, то, застываючы, ён ператвараецца ў празрысты шклопадобны ледзянец (мал. 52, *б*), які з'яўляецца аморфным целам. Праз некаторы прамежак часу ледзянец «зацукроўваецца», гэта значыць зноў робіцца крышталічным.

Пры хуткасцях ахаладжэння, якія перавышаюць мільён градусаў у секунду, удалося атрымаць аморфныя металічныя сплавы — шклопадобныя металы. Аморфны метал надзвычай цвёрды і трывалы. Яго выкарыстоўваюць у якасці рэжучага інструмента. Ён валодае высокімі магнітнымі ўласцівасцямі, таму з'яўляецца незаменным пры вырабе магнітных галолак для гука- і відэазапісу. Акрамя таго, аморфныя металы валодаюць высокай антыкарызійнай устойлівасцю.

Мал. 52

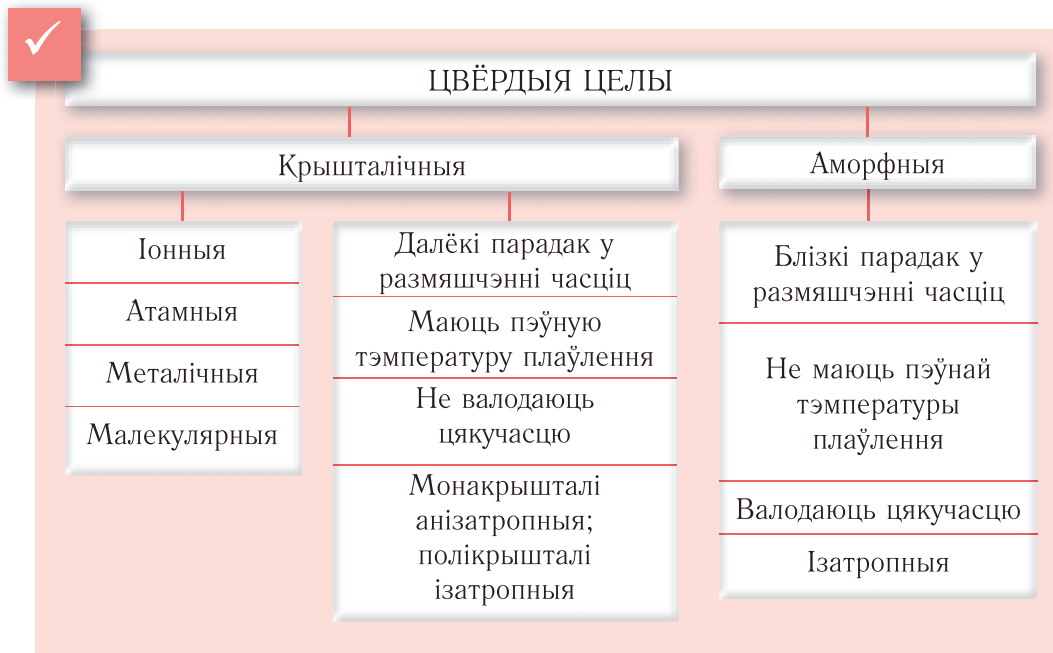
Ад тэорыі да практыкі

1. Ёсць дзве тонкія пласцінкі, пакрытыя воскам. Да пласцінак па чарзе дакрануліся гарачай спіцай. На адной пласцінцы пры плаўленні воску ўтварылася круглая пляма, а на другой — авальная. Якое з гэтых цел крышталічнае, а якое аморфнае?

2. У дзвюх пасудзінах неабходна расплавіць два цвёрдыя целы. Як, назіраючы за працэсам плаўлення, можна вызначыць, якое з гэтых цел крышталічнае, а якое аморфнае?

Цікава ведаць

Шкло валодае цякучасцю нават пры нармальных умовах, хоць і цячэ вельмі павольна. У старых будынках, дзе вокны даўно не мянялі, можна заўважыць паступовае патаўшчэнне шыбін да нізу.



1. Якія целы называюць цвёрдымі?
2. Якія асаблівасці будовы крышталічных цвёрдых цел?
3. Якія тыпы крышталёў вы ведаеце? Чым яны адрозніваюцца адзін ад аднаго?

4. У чым адрозненне паміж мона- і полікрышталімі?
5. У чым адрозненне паміж паняццямі «анізатрапія» і «ізатрапія»?
6. Чым адрозніваюцца асноўныя фізічныя ўласцівасці крышталічных і аморфных цел?

Дамашняя лабараторыя

Правядзіце назіранне за ростам крышталёў. Для гэтага прыгатуйце насычаны раствор кухоннай солі ў пасудзіне з гарачай вадой (раствор становіцца насычаным, калі соль перастае растварацца ў вадзе і пачынае асядаць на дно). Працадзіце раствор, пераліваючы ў іншую посудзіну. У астылы раствор апусціце нітку з прывязаным да яе крышталікам солі. Другі канец ніткі замацуйце на стрыжні, які змясціце на край пасудзіны. Назірайце за ростам крышталя на працягу некалькіх дзён.

Якая форма вырашчанага вамі крышталя? Ці з'яўляецца ён полікрышталём?

§ 8. Будова і ўласцівасці вадкасцей

Фізічныя ўласцівасці розных газаў, якія знаходзяцца пры дастаткова малых шчыльнасцях і высокіх тэмпературах, амаль аднолькавыя. Уласцівасці цвёрдых цел істотна залежаць ад узаемадзеяння часціц, з якіх яны складаюцца, і таму вельмі розныя. А што абумоўлівае ўласцівасці вадкасцей і іх адрозненне ад газаў і цвёрдых цел?

Рэчыва ў вадкім агрэгатым стане займае прамежкавае становішча паміж крышталімі і газамі, таму мае некаторыя агульныя рысы з абодвума гэтымі станамі. Напрыклад, для вадкасцей, як і для крышталічных цел, характэрная наяўнасць пэўнага аб'ёму. Разам з тым вадкасці, як і газы, прымаюць форму пасудзіны, у якой знаходзяцца, і могуць бесперапынна пераходзіць у газпадобны агрэгаты стан. Аднак вадкасці маюць шэраг уласцівых толькі ім асаблівасцей, найбольш характэрная з якіх — цякучасць.

Сярэдняя адлегласць паміж малекуламі рэчыва ў вадкім стане меншая (мал. 53, а), чым у газпадобным (мал. 53, б). Яна роўная прыблізна аднаму-двум дэцыметрам малекулы, гэта значыць складае каля 0,5 нм. Таму шчыльнасць вадкасці прыблізна ў 10^3 разоў перавышае шчыльнасць газу. Уласцівасці вадкасцей залежаць як ад асаблівасцей руху малекул, так і ад сіл іх узаемадзеяння.

Доследным шляхам у вадкасцях выяўлены *блізкі парадак* у размяшчэнні часціц (мал. 53, *а*). У адрозненне ад цвёрдых крышталічных цел (мал. 53, *в*) у вадкасцях упарадкаванасць у размяшчэнні малекул захоўваецца толькі сярод найбліжэйшых суседзяў (на адлегласцях, роўных некалькім дыяметрам малекулы).

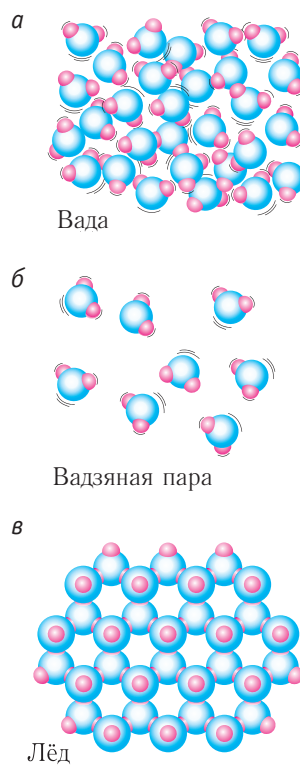
Малекулы вадкасці выконваюць бесперапынны хаатычны ваганні каля часовых становішчаў іх раўнавагі. Сярэдняя кінетычная энергія такіх ваганняў малекул вызначае тэмпературу вадкасці. Малекулы, якія атрымалі дадатковую энергію ў выніку сутыкненняў з іншымі малекуламі, могуць «пераскочыць» у новае (таксама часовае) становішча раўнавагі. Адлегласць гэтага становішча раўнавагі ад папярэдняга, як правіла, суадносіцца з памерамі саміх малекул. Такім чынам, малекулы павольна перамяшчаюцца ўнутры вадкасці, і каля пэўных месцаў знаходзяцца толькі на працягу некаторага прамежку часу Δt .

Блізкі парадак* у вадкасці пастаянна парушаецца ў выніку цеплавога руху малекул і зноў утвараецца сіламі міжмалекулярнага ўзаемадзеяння. З-за адсутнасці далёкага парадку ў размяшчэнні часціц вадкасцям, за невялікім выключэннем, не ўласцівая анізатрапія, характэрная для крышталёў.

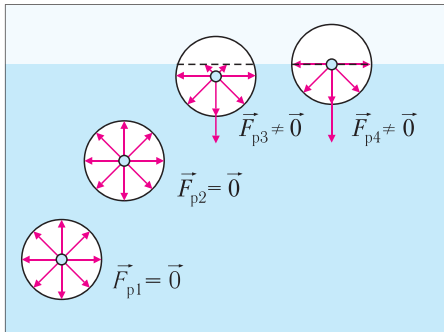
Такім чынам, уласцівасці вадкасцей абумоўлены адлегласцямі паміж малекуламі, сувымернымі з іх уласнымі памерамі, і магчымасцю малекул адносна свабодна перамяшчацца.

Адзначым, што сцвярджанне «вадкасць не мае ўласнай формы» не зусім карэктнае. Вадкасці, як і цвёрдыя целы, практычна несціскальныя, але яны цякучыя, таму іх форма залежыць ад формы адведзенай ім пасудзіны. На форму вадкасці ўплываюць знешнія сілы, напрыклад сіла цяжару сумесна з сіламі рэакцыі дна і сценак пасудзіны, у якой знаходзіцца вадкасць. Акрамя таго, дзеянне малекулярных сіл прыцяжэння прыводзіць да скарачэння свабоднай паверхні вадкасці.

* Наяўнасць у вадкасцях блізкага парадку ў размяшчэнні часціц з'яўляецца прычынай таго, што структуру вадкасцей называюць квазікрышталічнай (крышталепадобнай).



Мал. 53



Мал. 54

Малекулы, размешчаныя ў тонкім слоі паблізу паверхні, знаходзяцца ў асаблівых умовах з той прычыны, што ў паверхневым слоі вадкасці праяўляецца нескампенсаванасць малекулярных сіл прыцяжэння. На самай справе, любая малекула ўнутры вадкасці з усіх бакоў акружана суседнімі (аднолькавымі) малекуламі, дзеянне якіх узаемна кампенсуецца (мал. 54). Таму тут малекулярныя сілы прыцяжэння ўраўнаважваюцца, і рэзультуючая \vec{F}_{p1} гэтых сіл роўная нулю. Канцэнтраванасць малекул у паветры значна меншая, чым у вадкасці, таму рэзультуючая сіл прыцяжэння кожнай малекулы паверхневага слоя малекуламі газу меншая за рэзультуючую сіл яе прыцяжэння малекуламі вадкасці. Такім чынам, рэзультуючыя сілы прыцяжэння, якія дзейнічаюць на малекулы паверхневага слоя, накіраваны ўнутр вадкасці. Пад уздзеяннем гэтых сіл частка малекул паверхневага слоя ўцягваецца ўнутр, колькасць малекул на паверхні памяншаецца і плошча паверхні вадкасці скарачаецца да пэўнай велічыні. Мінімальную плошчу паверхні пры дадзеным аб'ёме маюць шарападобныя целы. Напрыклад, кроплі вады пры судакрананні зліваюцца ў адну, форма якой адрозніваецца ад сферычнай у выніку дзеяння сілы цяжару і сілы рэакцыі апоры.

Паверхневае нацяжэнне — прычына таго, што вада збіраецца ў кроплі (мал. 55), утвараюцца мыльныя бурбалкі (мал. 56), жук-вадамер рухаецца па паверхні вады (мал. 57), а ў стане бязважкасці любы аб'ём свабоднай вадкасці прымае сферычную форму.



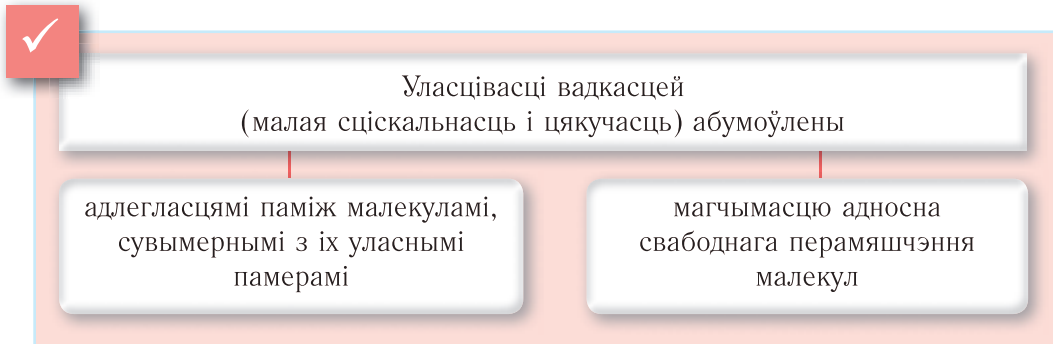
Мал. 55



Мал. 56



Мал. 57



1. Што ў будове вадкасцей абумоўлівае іх уласцівасці?
2. Якія асаблівасці руху малекул вадкасці?
3. Якія агульныя рысы і ў чым адрозненне ва ўласцівасцях вадкасцей і газаў?
4. Якія агульныя рысы і ў чым адрозненне ва ўласцівасцях вадкасцей і цвёрдых цел?
5. У вадкасцях часціцы выконваюць ваганні каля часовых становішчаў раўнавагі, узаемадзейнічаючы з суседнімі часціцамі. Праз пэўны прамежак часу часціца робіць «скачок» да іншага становішча раўнавагі. Якую ўласцівасць вадкасцей можна растлумачыць такім характарам руху іх часціц?



§ 8-1

§ 8-2

§ 9. Выпарэнне і кандэнсацыя. Насычаная пара

Чаму ў шчыльна закрытай пасудзіне гарачая вада астывае павольней, чым у адкрытай? Чаму зімой на дрэвах часам з'яўляецца іней? Чым ідэальны газ адрозніваецца ад пары?

Выпарэнне і кандэнсацыя. З паўсядзённага досведу мы ведаем, што вадкасці, напрыклад вада, знаходзячыся ў адкрытых пасудзінах, з цягам часу пераходзяць у газападобны стан — выпарваюцца. Прычым хуткасць выпарэння залежыць ад роду вадкасці, яе тэмпературы, плошчы свабоднай паверхні і ад прытоку паветра. У выніку выпарэння вады з паверхні вадзяной абалонкі Зямлі (гідрасферы), з паверхні глебы і расліннага покрыва ў паветры заўсёды знаходзіцца вадзяная пара, якая можа кандэнсаватца, утвараць воблакі, вяртацца на зямлю ў выглядзе ападкаў. Працэсы выпарэння і кандэнсацыі распаўсюджаны ў прыродзе і тэхніцы, і вывучэнне іх асаблівасцей мае вялікае практычнае значэнне.

Разгледзім шчыльна закрытую пасудзіну, у якой вада займае ніжнюю частку, а астатняя прастора запоўнена парай. Малекулы ў вадзе і пары знаходзяцца ў бесперапынным руху і могуць як пераходзіць з вады ў пару, так і вяртацца з пары ў ваду. Такім чынам, у пасудзіне адначасова адбываюцца два процілеглы