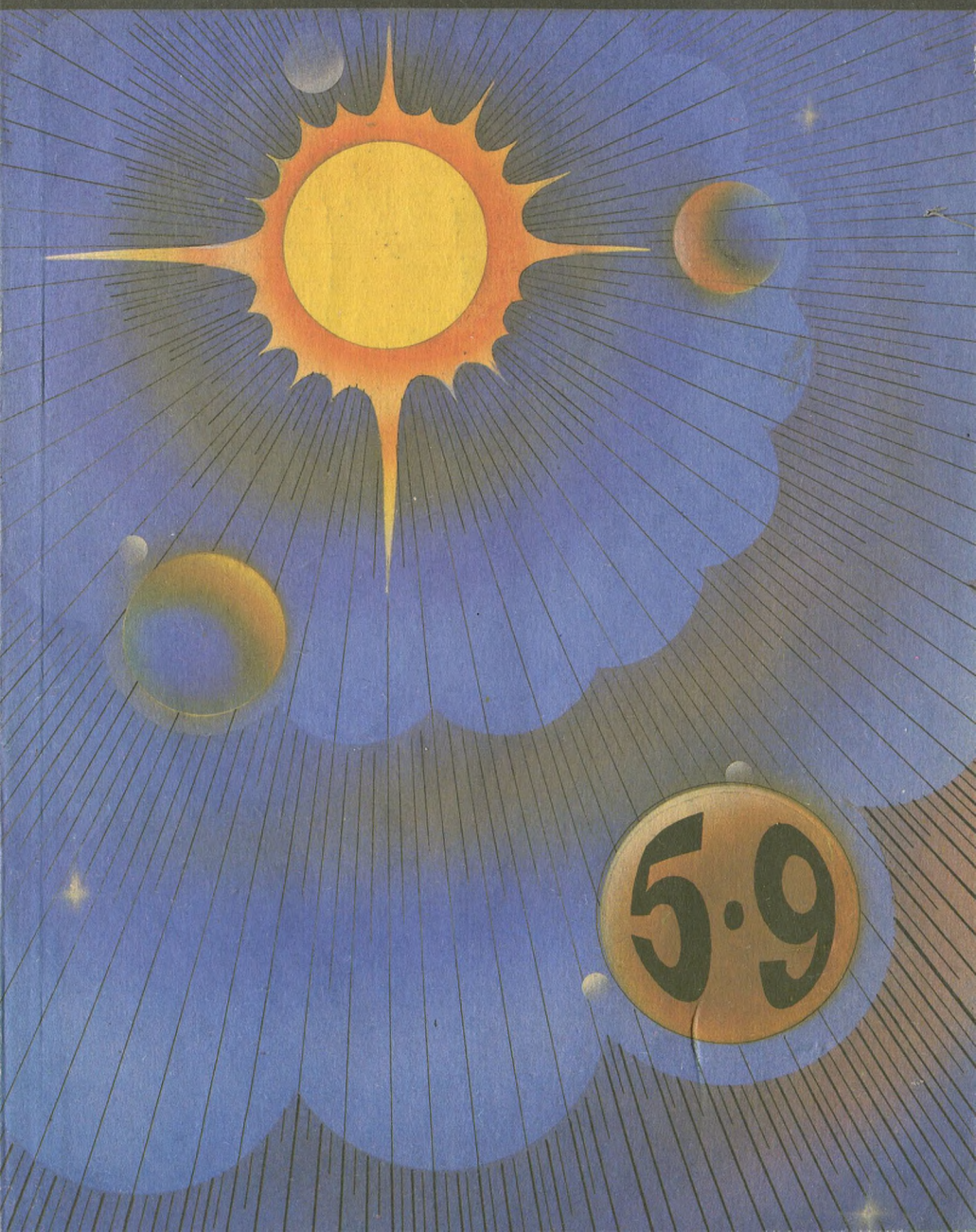


РАДЯЦЫЙНАЯ

А.М. Люцко
Л.В. Качарская

БЯСПЕКА



А.М. Люцко
Л.В. Качарская

РАДЫЯЦЫЙНАЯ БЯСПЕКА

**Вучэбны дапаможнік
для 5—9 класаў
базавай школы**

*Данушчана Міністэрствам адукацыі
Рэспублікі Беларусь*

ББК 51.26я721
Л 96
УДК 614.876(075.3)

Раздзелы «Карысныя атамы», «Радыяцыя вакол нас», «Дзеянне радыяцыі на навакольнае асяроддзе» напісаны А. М. Люцко, раздзел «Радыеактыўнасць» — А. М. Люцко і Л. В. Качарскай.

Пераклад з рускай мовы М. Г. Вінаградавай

6140876000—030
Л _____ 85—94
М 303(03) — 94

ISBN 985-03-0018-3

© А. М. Люцко, Л. В. Качарская, 1994
© Афармленне. М. У. Бялоў, 1994
© Пераклад. М. Г. Вінаградава, 1994

КАРЫСНЫЯ АТАМЫ

З таго, аб чым мы даведаліся ў малодшых класах, як быццам можна зрабіць вывад, што ад радыеактыўнасці, акрамя шкоды, нічога не дачакаешся. Вядома, дрэнна, калі радыенукліды валяюцца дзе папала ды яшчэ трапляюць у прадукты харчавання, як гэта здараецца пры буйных радыяцыйных аварыях, падобных на Чарнобыльскую. Тут ужо сапраўды трэба біць трывогу і прымаць усе меры супраць небяспекі радыеактыўных выпраменьванняў.

Аднак калі радыеактыўнасць знаходзіцца пад кантролем чалавека, яна можа прынесці вельмі вялікую карысць, напрыклад у медыцыне, археалогіі, пры пошуках карысных выкапняў і нават у касманаўтыцы. Вось чаму гэты раздзел кнігі (аб тым, як удалося паставіць радыенукліды на службу людзям) называецца «Карысныя атамы».

Карысныя якасці радыеактыўнасці вучоныя сталі шукаць, як толькі яна была адкрыта. Аказалася, што з радыеактыўных ядзер можна атрымліваць энергію, а выпраменьваемыя імі альфа-, бэта- і гама-прамяні выкарыстоўваюць для прасвечвання прадметаў (каб даведацца, як яны ўстроены ўнутры), апраменьвання (напрыклад, каб знішчыць шкодных мікробаў або ракавыя пухліны) або проста для таго, каб знаходзіць гэтыя ядры сярод мноства іншых...

1. МЕЧАННЫЯ АТАМЫ

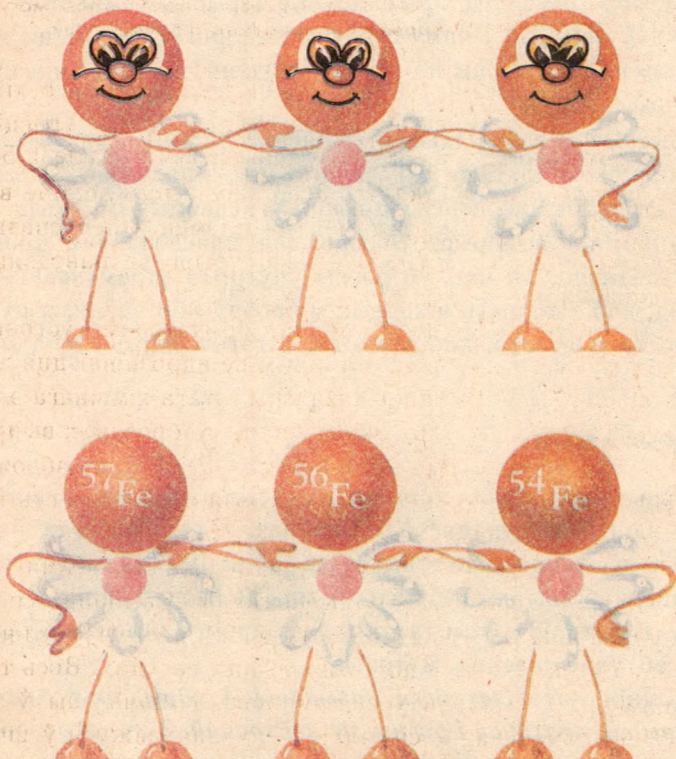
Вы спытаеце: а якая карысць ад гэтых надзвычайна маленькіх ядзер і нашто іх шукаць? Але маленькі — гэта яшчэ не недахоп. Маленькі лёгка пранікае туды, куды вялікаму ні за што не папасці. Галоўнае, каб яны не згубіліся і іх можна было б знайсці ў любым тайніку. Нашто? З гэтым таксама разбяромся. Але спачатку пагаворым аб уласцівасцях ізатопаў.

Успомнім, што *ізатопамі называюцца ядры, якія маюць аднолькавы лік пратонаў і розны лік нейтронаў*. З-за таго што ў нейтронаў няма электрычнага зараду (яны таму так і называюцца — ад слова «нейтральны»), іх колькасць ніяк не ўплывае на паводзі-

ны і ўласцівасці ядра, хіба што ў залежнасці ад агульнага ліку пратонаў і нейтронаў павялічваецца або памяншаецца яго маса.

У любога ядра жалеза 26 пратонаў, а нейтронаў можа быць 30 (усяго: $26+30=56$, і ізатоп называецца жалеза-56), 28 (жалеза-54) або 31 (жалеза-57).

Звярніце ўвагу: для таго каб адрозніваць ізатопы, вучоныя іх нумаруюць па агульнаму ліку **нуклонаў** — пратонаў разам з нейтронамі, якія ўваходзяць у ядро. Электронныя «футры» ва ўсіх атамаў хімічнага элемента аднолькавыя, а іншыя ж атамы рэчыва прымаюць навічка ў сваю кампанію «па вопратцы», уключаючы яго ў малекулу або выганяючы са сваёй кампаніі. Напрыклад, любы атам жалеза змяшчае 26 электронаў (столькі ж, колькі пратонаў у ядры), і атамы кіслароду з любым яго ізатопам водзяць аднолькавую дружбу, незалежна ад таго, што гэта — жалеза-54, -56 або -57. Дарэчы, звычайная ржа — гэта і ёсць малекулы, якія складаюцца з атамаў жалеза і кіслароду.



Мал. 1. Ізатопы аднаго хімічнага элемента нераспазнавальныя, як браты-блізняты.



Мал. 2. Радыеактыўныя ізатопы могуць быць узброены альфа-, бэта- і гама-зброяй.

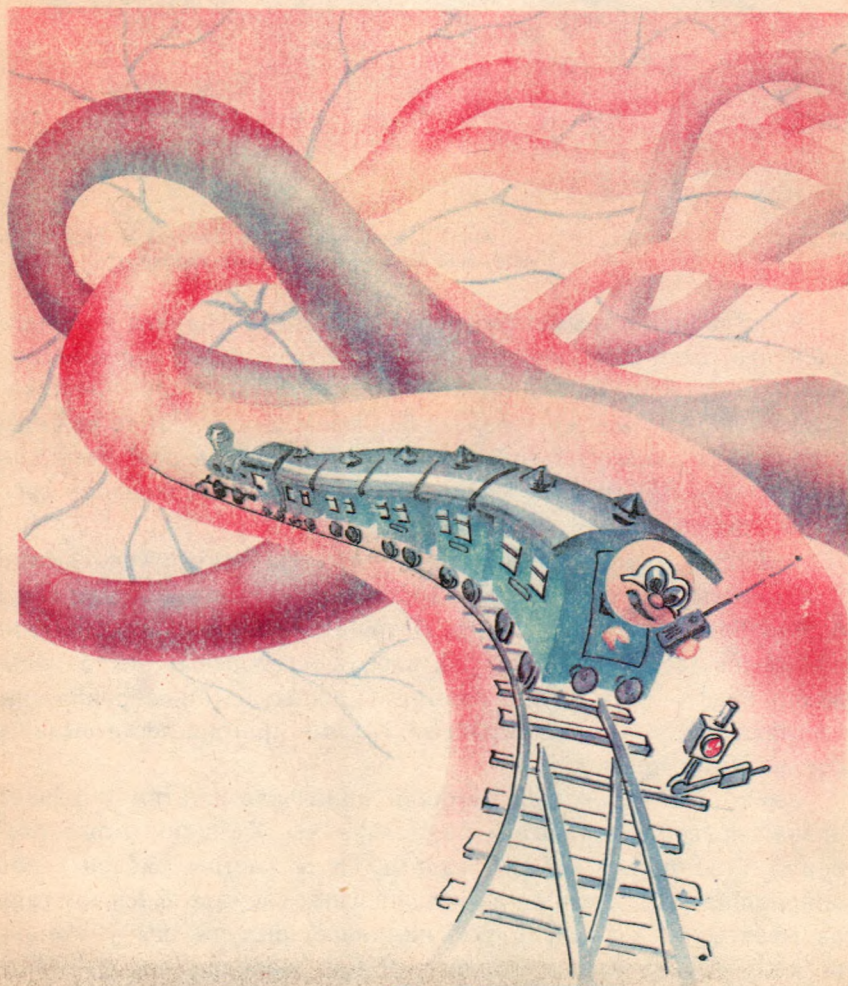
Калі сабраць прыметную колькасць атамаў аднаго хімічнага элемента, то ні па колеру, ні па якіх-небудзь іншых уласцівасцях адрозніць у ёй разнастайныя ізатопы немагчыма. Жалеза-54 іржавее якраз гэтак жа, як і жалеза-56. Такім чынам, самае важнае: усе ізатопы аднаго і таго ж хімічнага элемента нераспазнавальныя, як браты-блізняты (мал. 1), і ў прыродзе паводзяць сябе зусім аднолькава.

А цяпер успомнім, што сярод ядзер-ізатопаў сустракаюцца і радыеактыўныя. І яны таксама нічым не адрозніваюцца ад сваіх братоў-блізнят. Іх нават іншыя ізатопы гэтага хімічнага элемента прымаюць за сваіх. А яны, аказваецца, «узброены»: выпраменьваюць альфа-, бэта- і гама-прамяні (мал. 2). Гэтай «зброяй» яны і выдаюць сябе, таму што радыеактыўныя прамяні лёгка выявіць спецыяльнай прыладай.

Уявім, што ў вялікай кампаніі аднолькавых атамаў-блізнят аказаўся адзін «мечаны» — радыеактыўны. Кампанія можа схвацаць у зацішным месцы (напрыклад, у клетцы расліны) або адправіць у падарожжа па крывяносных сасудах. Вось тут гэты радыеактыўны і выдаць усю кампанію, вылучыўшы ў момант распаду выпраменьванне-сігнал: «Я тут, знаходжуся ў шчытападобнай залозе разам са сваімі!»

Урачам важна даведацца, ці правільнае лякарства яны прапі-

салі, ці трапіла яно ў хворы орган або, наадварот, больш нашкодзіла чалавеку, чым дапамагло. Атамы, з якіх складаецца лякарства або іншае рэчыва, настолькі малыя, што без цяжасці могуць пранікнуць у любы куток арганізма. А што, калі да іх дадавіць і некалькіх радыеактыўных братоў? Тады ж можна даведацца, куды дзеецца ўся кампанія атамаў або малекул рэчыва і ці правільна яна сябе паводзіць! Трэба толькі ў некаторых малекул замяніць адзін з атамаў на дакладна такі ж радыеактыўны або проста прычапіць яго да малекулы, як да поезда (мал. 3), каб



Мал. 3. Радыеактыўныя ізатопы дазваляюць прасачыць шляхі руху рэчываў па тканках і сасудах арганізмаў.



Мал. 4. Мечаныя атомы спадабаліся і батанікам.

падаваў з задняй пляцоўкі сігналы: «Едзем у прамым напрамку. Цяпер звачваем налева, у бок печані!»

Такі атам (радыеактыўны ізатоп) называецца *радыеактыўнай меткай*. Рэчыва з радыеактыўнымі ізатопамі і сапраўды памечана, але не фарбай, а радыеактыўнасцю. І гэтак жа, як афарбаванае

яйцо лёгка знайсці сярод астатніх, так і мечанае рэчыва без цяж-касці знаходзяць з дапамогай спецыяльных прылад, якія рэгіструюць радыеактыўныя выпраменьванні.

Мечаныя атамы спадабаліся і батанікам (мал. 4). Цяпер яны могуць назіраць, як рухаюцца пажыўныя сокі ў сцябле расліны, якія ўгнаенні яна любіць, дзе назапашвае і для чаго іх расходуе.

Каб абмеркаваць усе разнастайныя прымяненні мечаных атамаў, не хопіць нават вельмі вялікай кнігі. Але аб некаторых з іх мы ўсё ж паспрабуем расказаць.

2. КОЛЬКІ КРЫВІ У ЧАЛАВЕКА!

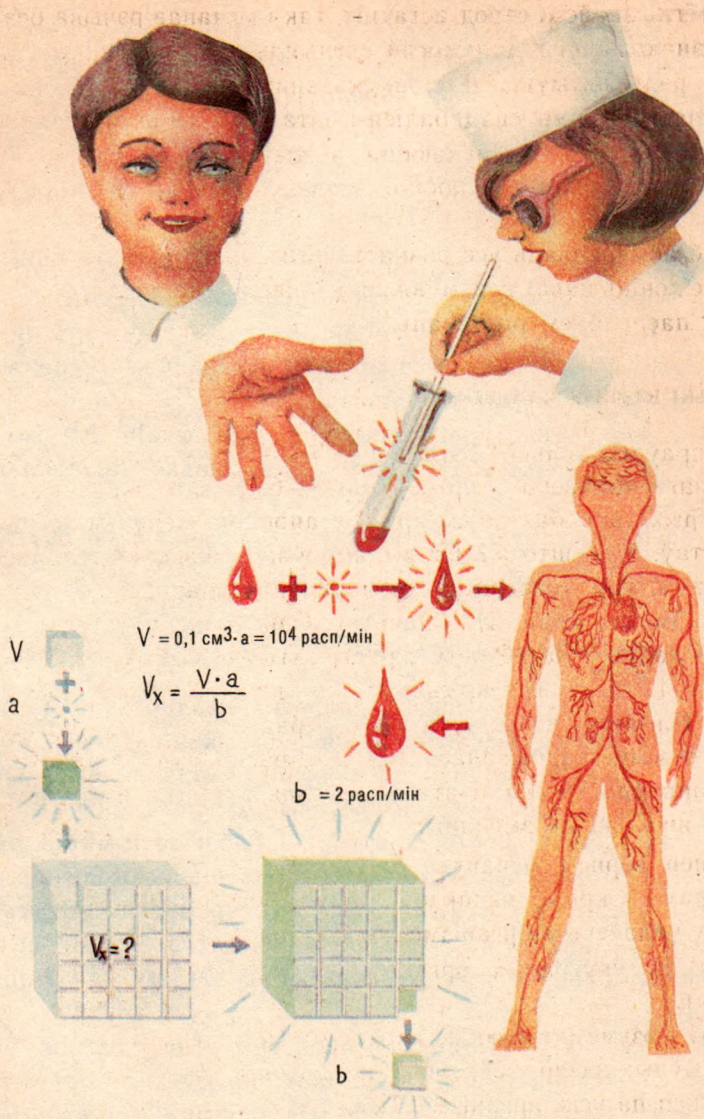
Сапраўды, колькі? Гэта цяпер мы ведаем, што ў здоровага дарослага чалавека — прыкладна 5—6 л. Але, аказваецца, пры некаторых хваробах аб'ём крыві становіцца меншым, змяняецца яе састаў. Ну і што ж? Не выпампоўваць жа кроў з чалавечага арганізма, каб даведацца, хворы ён або здаровы!

Зробім так (мал. 5). Спачатку возьмем у хворага кропельку крыві і дабавім да яе метку: радыеактыўныя ізатопы, якія далучаюцца да чырвоных крывяных шарыкаў або іншых малекулаў крыві. Нямнога, напрыклад столькі радыеактыўных атамаў, каб кожную мінуту адбывалася 100 тыс. распадаў. Не палохайцеся, гэта сапраўды нямнога: атамы настолькі малыя, што аб'ём кропелькі нікольні не зменіцца.

Цяпер вернем мечаную кроў праз крывяносны сасуд таму ж хвораму і крыху пачакаем, пакуль усё добра перамяшаецца (кроў у чалавечым арганізме перамешваецца вельмі хутка, пераносячы да ўнутраных органаў усе неабходныя ім карысныя рэчывы).

Зноў возьмем такую ж кропельку крыві. Зразумела, лік радыеактыўных ядзер у ёй моцна зменшыцца, таму што гэтыя ядры разнесліся па ўсім арганізме. Гэта тое ж самае, як калі б лыжку цукру растварыць у чаі: у маленькім кубку чай будзе больш салодкім, чым у вялікім. Чым больш крыві, тым меншая радыеактыўнасць кожнай яе кропелькі.

Няхай цяпер назіраюцца толькі 2 распады за мінуту. Гэта значыць, што аб'ём крыві ў хворага: $100\ 000:2 = 50$ тыс. кропелек. Засталося памножыць гэты лік на аб'ём кропелькі — і адказ гатовы! Калі кожны раз мы бралі па $1/10$ см³, то $50\ 000 \cdot 1/10 = 5000$ см³, або 5 л.



Мал. 5. Радыеізотопны метад вызначэння аб'ёму вадкасцей.

Ды што мы з вамі лічым, як у другім класе! Мы ж ужо ўмеем складаць ураўненні. Адносіны радыеактыўнасці, вымеранай у кропельках у першы і другі раз, павінны быць такімі ж, як адносіны аб'ёмаў кропелькі і ўсёй крыві, у якой яна разбавілася:

$$\frac{a}{b} = \frac{V_x}{V},$$

дзе a — радыеактыўнасць, якую мы дабавілі да ўзятай у хворага кроплі крыві, b — радыеактыўнасць такой жа кроплі пасля поўнага перамешвання, V — аб'ём кроплі. Адсюль невядомы аб'ём крыві ў чалавечым арганізме:

$$V_x = \frac{V \cdot a}{b}.$$

Некалі ў старажытнасці, прымаючы ванну, Архімед заўважыў, што пры апусканні цела ўзровень налітай вады падымаецца. «Эўрыка!» — ускрыкнуў Архімед, здагадаўшыся, што ўласны аб'ём, які ён беспаспяхова спрабаваў вымераць лінейкай, можна вылічыць па аб'ёму выціснутай вады.

Вы маеце поўнае права крыкнуць: «Эўрыка!» Вы ж цяпер ведаеце, як вымераць аб'ём нават у тым выпадку, калі не дапамагае і ванна!

А цяпер паспрабуйце самі прыдумаць прыклад, дзе спатрэбіліся б мечаныя атамы.

3. ІЗАТОПЫ РАСПАЗНАЮЦЬ ХВАРОБЫ

Кроў здаровага і хворага чалавека неаднолькавая. Аналіз крыві можа многае расказаць аб хваробе, якая пачалася, аб тым, як далёка яна зайшла і ці хутка пачнецца выздараўленне. У крыві хворага чалавека ўзнікаюць малекулы-абаронцы, якія працоўваюцца арганізмам для барацьбы з хваробатворнымі бактэрыямі і іншымі носьбітамі інфекцыі. Гэтыя абаронцы называюцца **антыцэламі**. На кожнага носьбіта інфекцыі (іх называюць **антыгенамі**) працоўваецца свой пэўны абаронца. Схватка ў крыві звычайна заканчваецца ўнічыю: гіне вораг-антыген, але і малекула-антыцэла, якая ўпілася ў яго.

Агрэсары — хваробатворныя антыгены — накідваюцца знянцку, без аб'яўлення вайны. Напрыклад, вірусы грыпу (гэта таксама антыгены) трапляюць у арганізм з паветрам або ежай. Арганізму, зразумела, патрабуецца час для таго, каб выявіць ворага, працаваць малекулы-зброю, мабілізаваць іх і адправіць на барацьбу з нашэсцем няпрошаных антыгенаў. У рэшце рэшт абаронцаў-антыцел набіраецца дастаткова і хвароба адступіць. Але аб тым, што хвароба пачалася, трэба неяк даведацца! Калі ў бойцы ты зарабіў сіняк, ён і так бачны. А як паставіць дыягназ, калі хвароба выклікана нябачнымі вірусамі?

Мы ўжо ведаем, што вайна з антыгенамі-невідзімкамі адбы-

ваецца ў крыві. Значыць, трэба высветліць, ці з'явіліся ў ёй антыгены. Калі хвароба толькі пачынаецца, у крыві яшчэ няма або зусім мала абаронцаў-антыцел. Антыцелы супраць падазраваемага захворвання дабаўляюць да кроплі ўзятай крыві. Потым у гэту ж кроплю дабаўляюць мечаныя радыеізатопа антыгены, якія выклікаюць гэту хваробу. І таксама пэўны лік, напрыклад таксама тысячу штук. Калі кроў была здаровай, гэта значыць у ёй не было хваробатворных антыгенаў, барацьба адбываецца паміж унесенымі антыцеламі і мечанымі антыгенамі. У выніку кожны знаходзіць свайго асабістага ворага і тысяча пар, счапіўшыся ў мёртвай хватцы, асядзе на дно прабіркi. І ўсе пары да адзінай у асадку акажуцца радыеактыўнымі!

А цяпер возьмем кроў у хворага чалавека. У ёй ёсць антыгены, толькі звычайныя, не радыеактыўныя. Але мы не ведаем, колькі іх, па-ранейшаму дабаўляем па тысячы антыцел і мечаных антыгенаў. Паколькі і мечаныя, і звычайныя антыгены паводзяць сябе зусім аднолькава і нічым не адрозніваюцца, антыцелы накідваюцца на тых і другіх без разбору.

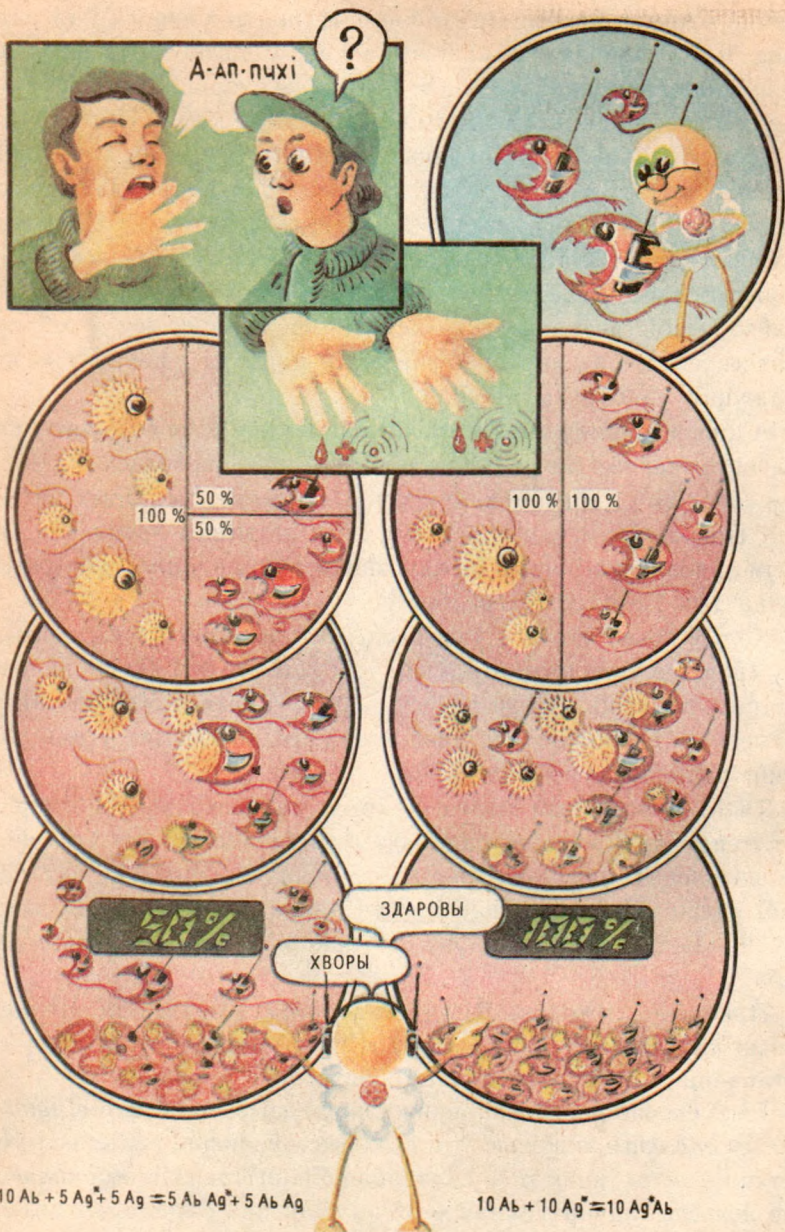
Калі ў крыві хворага ўжо было 1000 хваробатворных антыгенаў (разам з унесенымі мечанымі ўсяго 2000), то 1000 дабаўленых антыцел паразіць хутчэй за ўсё і 500 мечаных, і 500 звычайных антыгенаў. І тады асадак на дне прабіркi акажацца ў два разы менш радыеактыўным (мал. 6)!

Такім чынам, чым больш у крыві чалавека хваробатворных антыгенаў, тым меншая радыеактыўнасць асадку, які ўтварыўся са шчэпленых пар антыген-антыцела на дне прабіркi. Па велічыні гэтай радыеактыўнасці ўрач можа меркаваць, ці захварэў чалавек, і калі захварэў, то наколькі далёка зайшла хвароба.

Паколькі для кожнай інфекцыі ворагамі з'яўляюцца антыцелы толькі пэўнага сорту, то, мяняючы іх па чарзе, можна дакладна ўстанавіць хваробу і назначыць патрэбнае лячэнне.

Гэты спосаб распазнавання хвароб называецца *радыеімуналагічным аналізам*, паколькі ў ім выкарыстоўваюцца радыеактыўная метка і ахоўны імунітэт — складаная біялагічная сістэма чалавека або жывёлы, адной з задач якой і з'яўляецца барацьба з антыгенамі.

Безумоўна, гэты спосаб не такі просты, якім мы яго апісалі. Напрыклад, часам адно антыцела можа ўлажыць адразу некалькі ворагаў-антыгенаў, пацягнуўшы за сабой у асадак цэлую плойму. Але гэта ўжо арыфметыка. Мы спадзяёмся, што вы зразумелі



Мал. 6. Радыеімуналагічны аналіз для распазнавання хвароб: Ag і Ag* — адпаведна звычайны і мечаны антыген, Ab — антыцела.

галоўнае: з дапамогай радыеактыўных ізатопаў можна паставіць дыягназ хваробы, прычым у самым яе пачатку, калі дапамагчы хвораму значна лягчэй.

4. ТЭЛЕПЕРАДАЧА СА ШЧЫТАПАДОБНАЙ ЗАЛОЗЫ

Пад падбародкам, у ніжняй частцы шыі, знаходзіцца невялікая, але вельмі важная для арганізма шчытападобная залоза, ад якой залежаць рост, абмен рэчываў і наогул здароўе чалавека. (Паглядзіце на малюнку 7, дзе і як размешчана гэтая залоза, знайдзіце яе ў сябе.)



1-131

Мал. 7. Мечаныя атамы дапамагаюць паставіць правільны дыягназ захворвання шчытападобнай залозы, печані і іншых органаў.

Дык вось, гэта залоза калекцыяніруе ёд. Наогул жа трэба прызнаць, што калекцыянер з яе дрэнны. Яна проста збірае малекулы ёду, не разбіраючыся, адкуль яны ўзяліся і ці прыгожа выглядаюць.

У ёду многа розных ізатопаў, у тым ліку радыеактыўных. Паколькі шчытападобная залоза нічога не ведае аб ізатопах, а проста збірае ёд, ёй разам са звычайнай ёднай настойкай, якой змазваюць драпіны, можна падсунуць крыху радыеактыўнага ёду. Прагнае залоза толькі абрадуецца: «Вы прапануеце ёд? Давайце, давайце яго сюды!» І тут жа пачне раўнамерна размяркоўваць гэта багацце па ўсіх кутках. Ёй няўцям, што гэты ёд не той!

Кожны атам радыеактыўнага ёду, распадаючыся, пачынае перадачу: «Я тут, знаходжуся ў левым верхнім кутку!», «Я тут, мяне кінулі проста пасярэдзіне!» Калі абагульніць усе перадачы, атрымаецца такая, падобная на тэлевізійную, карціна: усе атомы ёду раскіданы раўнамерна, прычым атрымаўся здымак шчытападобнай залозы ў радыеактыўных прамянях. Для ўрача гэта вельмі важны здымак. Калі залоза вельмі вялікая або, наадварот, вельмі маленькая, значыць, чалавек хворы.

Адчуўшы недамаганне, нават самы адпеты калекцыянер кідае любімы занятак. Не да таго! Так і шчытападобная залоза: пры некаторых сваіх захворваннях яна страчвае цікавасць да ёду. У такіх выпадках атомы радыеактыўнага ёду сігналізуюць: «Мы тут, усе разам, але нас вельмі мала!» А бывае і так: шчытападобная залоза, закінуўшы ўсе свае справы, не цікавячыся ні абменам рэчываў, ні ростам свайго ўладальніка, займаецца толькі калекцыяніраваннем ёду. Тады радыеізатопы паднімаюць трывогу: «Мы тут сабраліся, але нам не хапае месца. Дапамажыце!»

Яшчэ горш, калі ў залозе ўтварылася пухліна. Ёй ёд наогул не патрэбен. Пакуль пухліна расце, шчытападобная залоза назапашвае ёд толькі ў сваёй здаровай частцы. Калі цяпер паглядзець на здымак залозы ў радыеактыўных прамянях, мы ўбачым «пустую кладоўку». Гэта і ёсць пухліна, залозу трэба тэрмінова лячыць.

Мечаныя атомы дапамагаюць паставіць дыягназ не толькі хваробы шчытападобнай залозы. Вось, напрыклад, печань. У чалавека і жывёл гэта — фільтр, у якім засядаюць часцінкі адходаў жыццядзейнасці, непатрэбнае арганізму «смецце». Але гэта, як паглядзець! Нават на звалцы можна знайсці карысную рэч. Печань калекцыяніруе «буйнагабарытныя рэчы»: кавалачкі фарбы, усякія каштоўнасці, у тым ліку золата. Але зноў-такі не асобныя

атамы, а як бы золата ў калоідных «злітках». Здаровая печань, як і шчытападобная залоза, назапашвае ўсе гэтыя скарбы раўнамерна.

Мы ўжо ведаем, што пухліна не цікавіцца калекцыяніраваннем. Калі памеціць «рэчы», якія цікавяць печань, радыеактыўнымі ізатопамі (часцінкі фарбы — радыеактыўным ёдам, калоідныя часцінкі — радыеактыўным золатам), то на здымку органа ў гамапрамянях з'явіцца белая пляма (гл. мал. 7). Значыць, у гэтым месцы печані ўтварылася пухліна, і трэба заняцца лячэннем.

5. КОЛЬКІ ГАДОЎ ЗЯМЛІ, АБО АТАМНЫ ГАДЗІННІК

Мы ўжо ведаем, што радыеактыўныя ізатопы «ўзброены»: яны вылучаюць выпраменьванні, чым і адрозніваюцца ад астатніх, «няўзброеных» ізатопаў дадзенага хімічнага элемента. Але ў салдат ізатопнай арміі свае «ваенныя» законы.

У момант распаду радыеактыўнае ядро выкідвае з сябе альфа- або бэта-часціцу, а часта ў прыдачу і гама-квант, ператвараючыся ў ядро зусім іншага хімічнага элемента. Зыходнае ядро называюць *матчыным*, а тое, што нарадзілася ў выніку яго распаду, — *даччыным* (мал. 8, а). Усім, безумоўна, зразумела, чаму ім далі такія назвы.

Даччынае ядро, у сваю чаргу, можа аказацца радыеактыўным і, выстраліўшы часціцай, параджае яшчэ адно даччынае ядро, якое ў гэтым выпадку правільней было б назваць *унучатым* (гл. мал. 8, б). Некаторыя радыеізатопы, напрыклад уран, нараджаюць многія пакаленні радыеактыўных ядзер.

Аднак большасць радыеактыўных атамаў мае боекомплект толькі ў адным экзэмпляры, гэта значыць выстраліць радыеактыўнай часціцай яны могуць толькі адзін раз у сваім жыцці, пасля чаго становяцца мірнымі «грамадзянамі» атамнага свету. Праўда, у кожнага такога радыеактыўнага ядра застаецца магчымасць падумаць: пальнуць адразу або крыху пачакаць.

Калі радыеізатопы збіраюцца ў армію, у іх ніяк не атрымліваецца пальба залпам (мал. 9): нецярплівыя адстрэльваюцца адразу, затым да стральбы далучаюцца «неарганізаваныя масы», а «тугадумы» — у апошнюю чаргу. У гэтай неразбярыве, аказваецца, строга выконваецца вельмі важны «ваенны» закон, у якім трэба ўважліва разабрацца.

Вымяраючы лік выстралаў, вымераем час, праз які наша радыеактыўная армія напалову раззброіцца, або, як гавораць вучоныя, напалову распадзецца. Назавём гэты час *перыядам пай-распаду* і абазначым яго літарай *T*.

А што адбываецца з радыеактыўнымі ядрамі, якія засталіся? Праз яшчэ адзін перыяд паўраспаду T з іх таксама распадзецца палова. Усяго, такім чынам, за $2T$ распадзецца: $1/2 + 1/2 \cdot 1/2 = 3/4$ радыеізатопаў.

Але ж засталася «ўзброенай» яшчэ адна чвэрць! Праз яшчэ адзін перыяд паўраспаду зноў адстраляецца палова і застанецца баяздольнай толькі адна восьмая ад лікавага складу першапачатковай арміі.

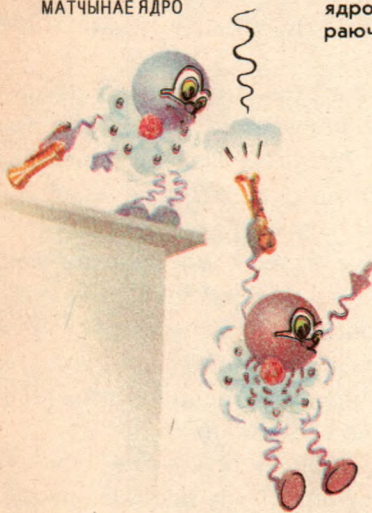
Значыць, калі з дапамогай лічыльніка пастаянна рэгістравать колькасць выпраменьваемых радыеактыўным рэчывам часціц, можна заўважыць, што іх інтэнсіўнасць увесь час памяншаецца. Па гэтай інтэнсіўнасці можна меркаваць, колькі часу ваюе армія.

Такім чынам, запомнім:

1. Кожны радыеактыўны ізатоп вылучае ўласцівае яму выпраменьванне толькі адзін раз, «паміраючы» як радыеактыўны і ператвараючыся ў мірны, бяззбройны, або **стабільны**, ізатоп,— больш не небяспечны. Калі ў выніку распаду ўтвараюцца радыеактыўныя

Мал. 8(а, б). Пры распадзе радыеактыўнае ядро выкідае альфа- або бэта-часціцу, ператвараючыся ў ядро іншага хімічнага элемента.

МАТЧЫНАЕ ЯДРО



ДАЧЧЫНАЕ ЯДРО



а

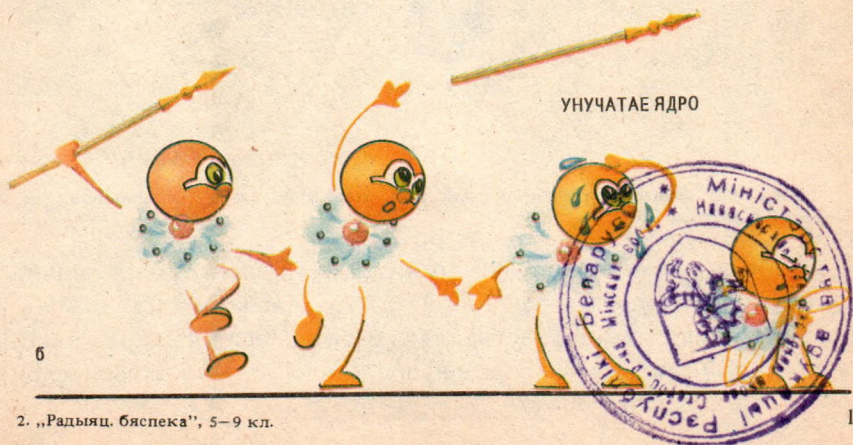
дачыныя ядры, іх выпраменьванне ўсё роўна мяняецца — калі не па віду выпраменьваемых часціц, то па іх энергіі. Карыстаючыся аналогіяй, можна сказаць, што на змену загінуўшаму воіну-ядру паяўляецца воін пад іншым прозвішчам і з іншай зброяй. Але ў рэшце рэшт і ўся радыеактыўная сям'я распадаецца, утвараючы бяскрыўны стабільны ізатоп.

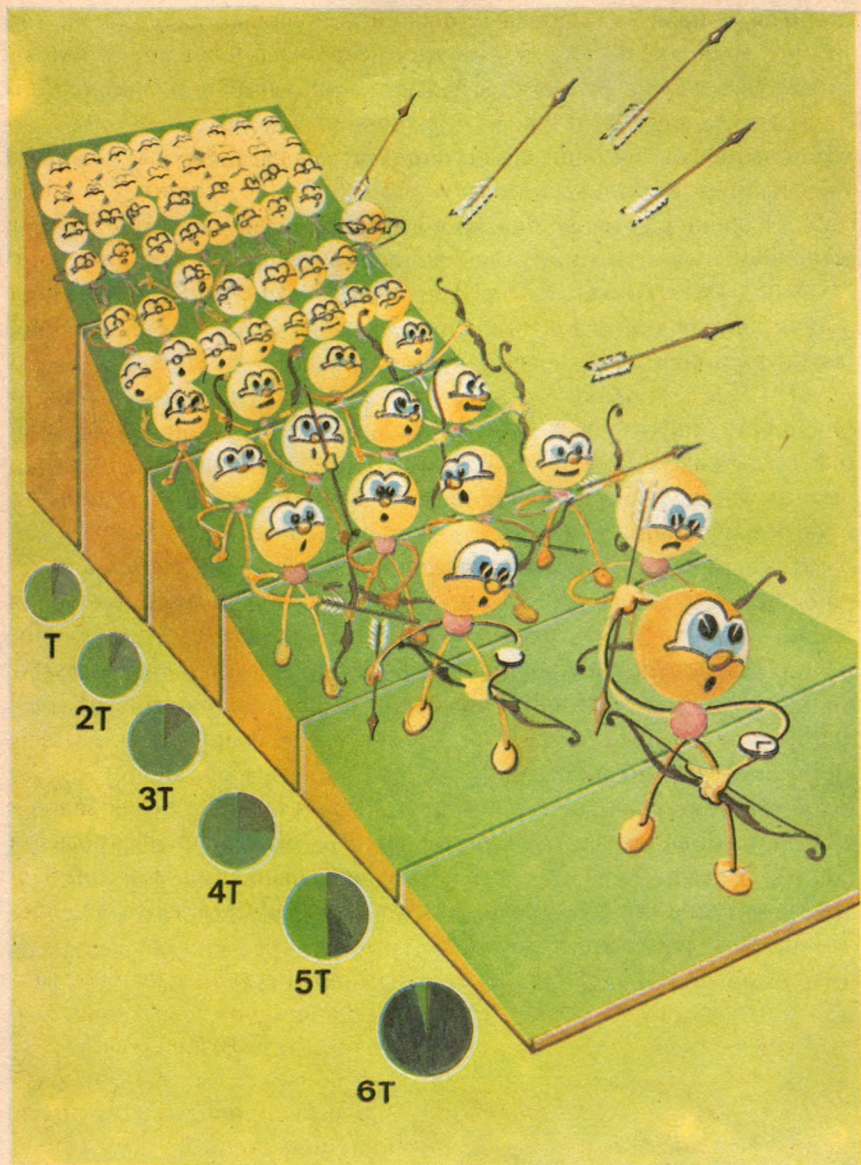
2. Кожны раз пасля перыяду паўраспаду інтэнсіўнасць выпраменьвання арміі ізатопаў памяншаецца ўдвая.

У радыеактыўным свеце абодва законы выконваюцца няўхільна. Аднак на конт другога ёсць нюансы. Справа ў тым, што ў кожнага сорту радыеізопаў — свой перыяд паўраспаду. Напрыклад, у ёду-131 (як у любога ёду, у яго 53 пратоны, а ў гэтага ізатопа нейтронаў — 78) $T = 8$ дням, і яго называюць кароткажывучым, а ў доўгажывучага калію-40 — мільярды гадоў! Можна сказаць, што каліевая армія ўся складаецца з «тугадумаў» і «гультаёў»: яны больш спяць у акопах, чым страляюць.

Даўным-даўно, калі ўтварылася наша планета Зямля, яе рэчыва склалі стабільныя, а таксама каротка- і доўгажывучыя ізатопы рознага сорту. З таго часу арміі кароткажывучых атамаў даўно распаліся. Засталіся толькі тыя, у якіх перыяд паўраспаду вельмі вялікі, у тым ліку калій-40 і уран-238, у якога T — амаль 4,5 млрд гадоў.

Уран-238 — родначальнік вялікай радыеактыўнай сям'і. У яго родзе ўтвараецца многа даччыных радыеактыўных ядзер. Кожны уранавы атам, які мнагакратна «адстраляўся», у рэшце рэшт ператвараецца ў мірны атам свінцу. Вымераўшы радыеактыўнасць урану і падлічыўшы лік мірных свінцовых атамаў, што ўтварыліся, напрыклад, у адным граме урану, можна вылічыць, што Зямля ўзнікла каля 4,5 млрд гадоў назад.





Мал. 9. У недысцыплінаванай арміі радыёізатопаў ніяк не атрымліваецца стральба залпам.

Вучоныя вельмі здзівіліся, бо яны думалі, што Зямля значна маладзейшая. Але гэта яшчэ не ўсё. Аказалася, што амаль мільярд гадоў наша планета заставалася безжыццёвай. Потым з'явіліся прымітыўныя істоты. Вымераўшы ўзрост старажытнага слоя

пароды, у якой захаваліся іх шкілецкі, вучоныя даведаліся, калі жылі гэтыя насельнікі. Такім жа спосабам высветлілі, у які час раслі старажытныя трапічныя лясы, узніклі і вымерлі яшчары, паявіўся першы чалавек.

Атрымаўшы ў свае рукі цудоўны радыеактыўны гадзіннік, вучоныя пачалі вымяраць узрост зрэзаў глеб, гранітаў і іншых парод. Не толькі з цікаўнасці, але і з карысцю для справы! Так, старажытныя трапічныя лясы ўтварылі цэлыя пласты каменнага вугалю. Час, калі гэта адбылося, можна вызначыць. Цяпер, сустрэўшыся з пародай такога ж узросту, геалагі старанна правяраюць мясцовасць: паблізу павінен быць вугаль!

Высветлілася, што з дапамогай радыеактыўнага гадзінніка лягчэй шукаць нафту і іншыя карысныя выкапні. Выбіраючы радыеізатопа з падыходзячым перыядам паўраспаду, можна аднавіць часавую гісторыю чалавецтва. Хіба не цікава даведацца, як і калі жылі першыя чалавечыя плямёны, на якіх жывёл яны палявалі, з кім ваявалі і як утвараліся старажытныя дзяржавы?

Па геалагічных маштабах чалавечая гісторыя пачалася нядаўна. Тут як мага дарэчы аказаўся радыеактыўны вуглярод, у якога перыяд паўраспаду — прыкладна 6 тыс. гадоў. Гэты ізатоп бесперапынна ўтвараецца ў паветраным асяроддзі пры бамбардзіроўцы атмасферы касмічнымі прамянямі. Ён ёсць усюды, дзе ёсць звычайны вуглярод.

У жывым арганізме, які дышае паветрам і наогул абменьваецца рэчывамі з навакольным асяроддзем, заўсёды ёсць нямнога радыевугляроду. Але пасля смерці абмен спыняецца, і з прычыны распаду доля першапачатковага радыеактыўнага вугляроду паступова змяншаецца.

Такім чынам, у рэштках арганізма, які памёр дзесяць тысяч гадоў назад, вугляроднай радыеактыўнасці намнога менш, чым у таго, які загінуў у часы крыжовых паходаў. Вывучаючы вугалі або косці са старажытных стаянак чалавека, муміі егіпецкіх фараонаў, курганы, дзе пахаваны знатныя правадыры, вучоныя даведаліся аб шматлікіх цікавых падрабязнасцях з гісторыі.

Мы на гэтым закончым разгляд прымянення радыеактыўных ізатопаў. Вы, напэўна, і так зразумелі, што іх можна выкарыстаць усюды: для прагнозу надвор'я, вынаходства новых машын, у гісторыі, біялогіі, медыцыне, будаўніцтве. Ды ці мала дзе! Паспрабуйце і самі прыдумаць карысную работу для радыеізатопаў. А мы цяпер раскажам, як прымяняюцца вылучаемыя імі выпраменьванні.

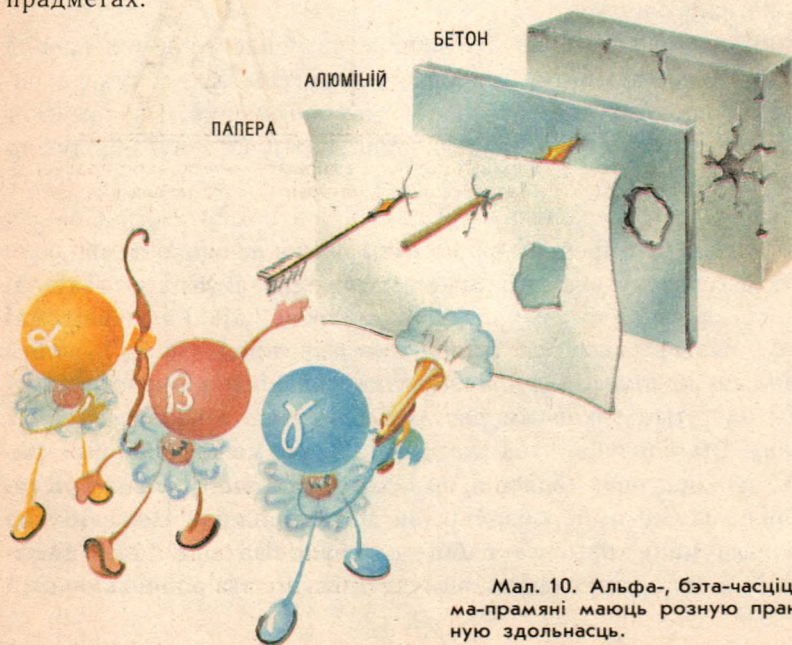
6. КАРЫСНЫЯ ПРАМЯНІ

Вам, напэўна, даводзілася бываць у рэнтгенаўскім кабінэце. А хто-небудзь, магчыма, нават бачыў рэнтгенаўскі здымак лёгкіх. Ці не праўда, усе вантробы, як на далоні: вось косці, вось сэрца і сасуды, само па сабе, правае і левае лёгкія?..

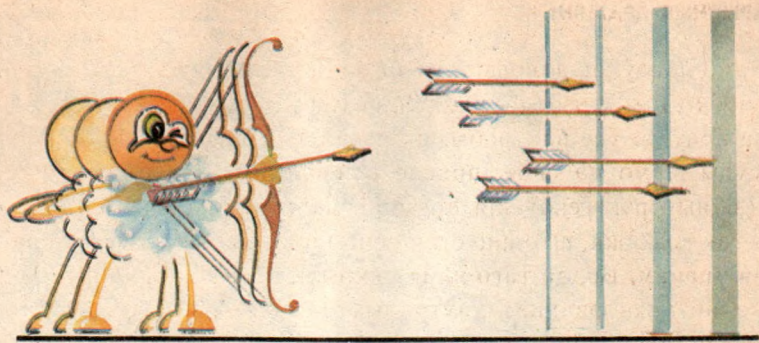
Дзіўныя рэнтгенаўскія прамяні, якія пранікаюць у чалавечае цела так глыбока, што яно становіцца празрыстым, адразу спатрэбіліся ўрачам. Бо, да таго як іх адкрылі, вельмі цяжка было даведацца аб захворваннях унутраных органаў.

Выпраменьванні, вылучаемыя радыеактыўнымі ядрамі, маюць энергію нават большую, чым у рэнтгенаўскіх прамянях. Праўда, альфа- і бэта-часціцы ўсё роўна пранікаюць у рэчыва неглыбока, затое гама-прамяні прастрэляваюць наскрозь нават вельмі тоўстыя металічныя пліты (мал. 10)!

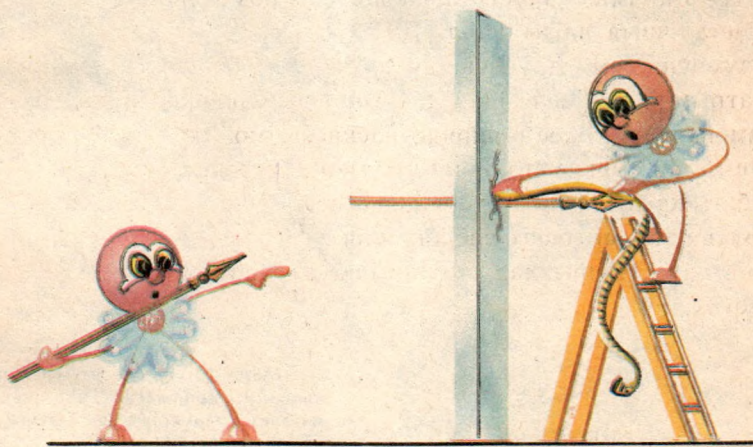
Безумоўна, чым таўсцейшая пліта, тым больш гама-квантаў яна затрымлівае (мал. 11). Значыць, вымераўшы інтэнсіўнасць выпраменьвання, якое прайшло наскрозь, можна без лінейкі вызначыць таўшчыню металічнага слоя або бетоннай сценкі. А альфа- і бэта-прамяні, што пранікаюць неглыбока, спатрэбіліся для вымярэння вельмі тонкіх плёнак, якія ніяк нельга вымераць нават мікрометрам. Напрыклад, таўшчыню пазалоты на якіх-небудзь прадметах.



Мал. 10. Альфа-, бэта-часціцы і гама-прамяні маюць розную пранікальную здольнасць.



Мал. 11. Чым таўсцей пліта, тым больш гама-квантаў яна затрымлівае.



Мал. 12. Шляхам вымярэння велічыні выпраменьвання, якое прайшло праз матэрыял, можна вызначыць і від матэрыялу, і яго таўшчыню.

Пранікненне радыеактыўных выпраменьванняў залежыць не толькі ад таўшчыні, але і ад шчыльнасці рэчыва. Жалеза затрымлівае выпраменьванне больш моцна, чым алюміній, а вельмі цяжкі свінец паглынае яго яшчэ лепш, чым жалеза.

Калі на шляху прамяніў паставіць пласцінкі розных рэчываў аднолькавай таўшчыні, то інтэнсіўнасць прайшоўшага праз іх выпраменьвання будзе адрознівацца. Такім чынам, акрамя радыеактыўных таўшчынямераў, аб якіх мы гаварылі, можна прыдумаць радыеізатопныя прылады, што дазваляюць вызначаць, з якога матэрыялу зроблен той або іншы прадмет (мал. 12). З дапамогай гэтых прылад вельмі лёгка адрозніць золата ад пазалочанай медзі, так што падробка не пройдзе!



Мал. 13. Радыеактыўны лічыльнік дапамагае падлічыць любую прадукцыю, як бы шмат яе ні было.

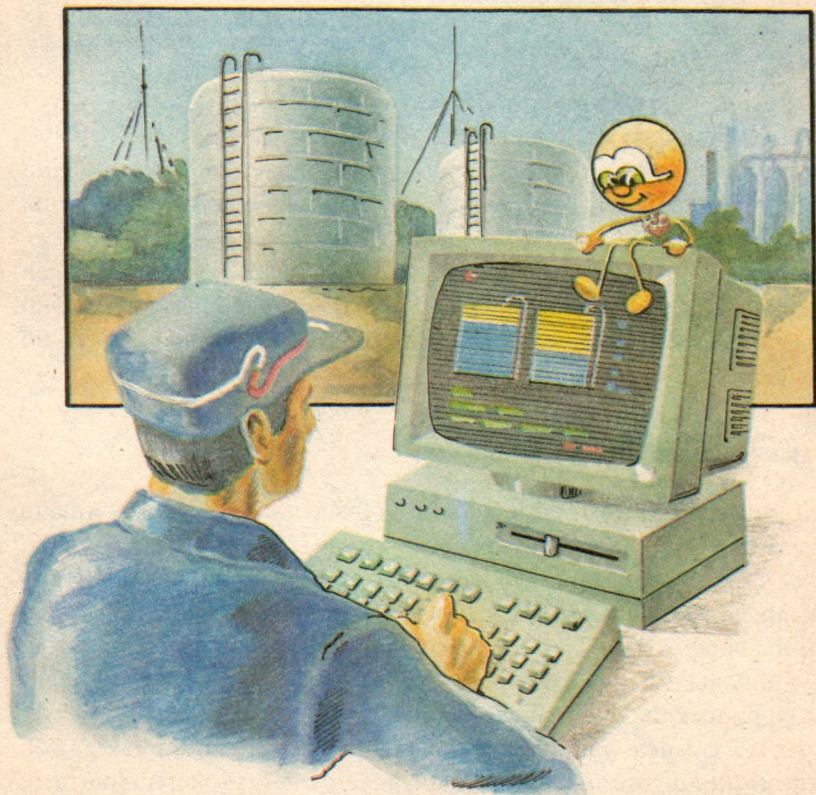
Або вось яшчэ адно прымяненне радыеактыўных выпраменьванняў. Дэталі, бутэльні з мінеральнай вадой або цукеркі, якія вырабляюць на фабрыцы, вельмі цяжка пералічваць уручную. Ды і памыліцца лёгка! Але можна зрабіць так (мал. 13): з аднаго боку канвеера, па якім рухаюцца гатовыя вырабы, паставім радыеактыўнае рэчыва, а з другога — лічыльнік выпраменьвання. Калі паміж імі паяўляецца дэталі, яна перарывае выпраменьванне. Лічыльнік адразу заўважыць: «Радыеактыўнага прамяня няма, значыць, на канвееры — прадмет. Паставім птушку!» Такая прылада-лічыльнік не стамляецца і не памыляецца, яна лёгка пералічвае гатовую прадукцыю, як бы многа яе ні зрабілі.

Вельмі карысная аўтаматычная прылада — вымяральнік узроўню. Вы, напэўна, бачылі велізарныя серабрыстыя бакі, у якіх захоўваюць нафту, бензін, газу або іншае гаручае. Трэба ўвесь час

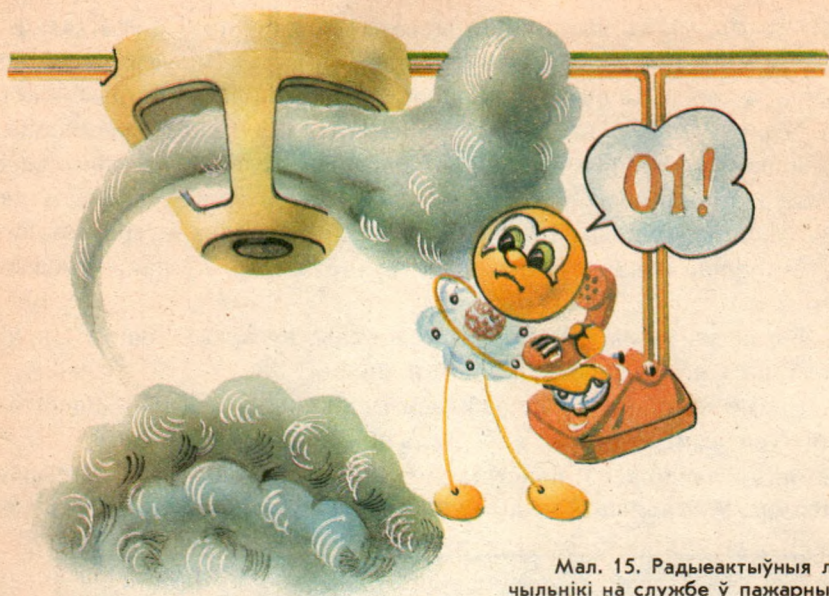
правяраць: колькі яго засталася, ці не час дабавіць, ці не паявілася пашкоджанне, праз якое гаручае выцякае? Звонку нічога не бачна, а лазіць па высокіх лесвіцах з рулеткай нязручна, ды і часу на гэта ідзе многа. Але можна радыеактыўнае рэчыва размясціць на паплаўку, каб ён плаваў на паверхні вадкасці. А лічылнік радыеактыўнага выпраменьвання прымацуюем звонку або так, як паказана на малюнку 14. Вось і гатовы вымяральнік узроўню, які аўтаматычна паказвае колькасць гаручага проста ў пакоі дыспетчара!

Гэтак жа вымяраюць колькасць вады, вугалю ў топцы. Ды ці мала што яшчэ даводзіцца вымяраць!

Радыеактыўнасць спатрэбілася і пажарнікам. Калі ў паветры паявіўся дым, значыць, яно стала цяжэйшым, таму што ў ім — дымавыя часцінкі. У паветры хутка паглынаюцца толькі альфа-часціцы. У сігналізатары дыму прымяняюць радыеактыўныя ізато-



Мал. 14. Радыеактыўны лічылнік дапамагае вызначыць узровень і аб'ём вадкасці ў рэзервуарах-баках для захавання, напрыклад, паліва.



Мал. 15. Радыеактыўныя лічыльнікі на службе ў пажарных.

пы, якія выпраменьваюць менавіта такія часціцы. Ён зусім бяспечны, паколькі на адлегласці ў дзесяць сантыметраў ад радыеактыўнага рэчыва ўсё альфа-выпраменьванне паглынаецца звычайным паветрам. Яго нават не трэба шчыльна закрываць, няхай паветра свабодна праходзіць.

Сігналізатар увесь час «прынюхваецца». Калі ўсё спакойна, ён маўчыць. Але вось паявіўся дым. Чым ён гусцейшы, тым менш альфа-часціц пападае на лічыльнік, і ён б'е трывогу: «Хутчэй тушыце пажар!» (мал. 15).

7. ПРАМЯНІ ШКОДНЫЯ І ЖЫВАТВОРНЫЯ

Радыеактыўныя выпраменьванні небяспечныя тым, што маюць адносна вялікую энергію — у сотні тысяч разоў большую, чым энергія сонечных прамянёў. Яны здольныя забіваць. Але нават і гэту якасць, аказваецца, можна паставіць на службу чалавеку.

Пры аперацыях вельмі важна не занесці інфекцыю ў рану. Вы, напэўна, бачылі ў кіно, па тэлевізары або на карцінках, як старанна хірургі мыюць рукі, надзяваюць пальчаткі, павязкі і чыстыя халаты. А самога хворага накрываюць стэрыльнымі накідкамі. Але ж самая небяспечная інфекцыя заносіцца з інструментамі, якія непасрэдна дакранаюцца да раны!

Для таго каб абеззаразіць (урачы гавораць «стэрылізаваць»)

інструменты, іх доўга кіпяцяць. Але і гэтага не заўсёды дастаткова: некаторыя вірусы ўсё роўна застаюцца.

А вось апрамененыя інструменты абсалютна стэрыльныя. Зольнасць радыеактыўных выпраменьванняў забіваць бактэрыі і іншую інфекцыю наогул шырока выкарыстоўваецца ў медыцыне.

Мы ўжо гаварылі, наколькі небяспечныя радыеактыўныя выпраменьванні для чалавека. Але ж імі можна забіваць пухліны. Самае галоўнае — апраменьіць пухліну, але не закрануць здаровую тканку. Для гэтага ў пухліну можна ўвесці радыеактыўныя рэчывы, а ў тым выпадку, калі яна размешчана глыбока і недаступная, яе апраменьваюць пучком пранікаючага гама-выпраменьвання звонку.

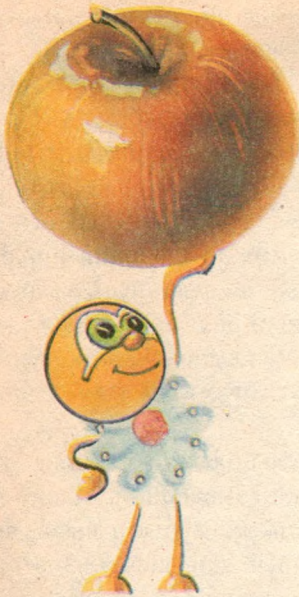
Чым глыбей знаходзіцца пухліна, тым большай павінна быць энергія гама-квантаў. У гама-пушцы (так называецца прылада для апраменьвання пухлін) прымяняюць радыеактыўнае рэчыва, якое выпраменьвае гама-прамяні вялікай энергіі. Але яшчэ лепш прымяняць спецыяльную прыладу — паскаральнік. У ёй электроны або іншыя зараджаныя часціцы паскараюць да патрэбнай энергіі. Яе можна мяняць, рабіць большай або меншай, каб забіць пухліну на любой глыбіні ўнутры чалавечага цела.

Радыеактыўнымі прамянямі можна знішчыць шкодных насякомых і іншых шкоднікаў сельскай гаспадаркі. У сельскай гаспадарцы радыяцыя наогул аказалася вельмі карыснай.

Калі перад пасадкай у глебу дэзінфіцыраваць апраменьваннем насенне або клубні, расліны вырастаюць здаровымі і даюць намнога большы ўраджай. Часам такім спосабам можна нават атрымаць новы, устойлівы да хвароб высокаўраджайны сорт.

Сабраць багаты ўраджай — гэта палова справы. Важна таксама яго захаваць, вельмі ж многа агародніны і садавіны прападае. На іх накідваюцца чэрві, мухі і іншыя насякомыя, якія заносзяць інфекцыю і адкладваюць яйкі. Пасля апраменьвання прадуктаў харчавання забіваецца большасць мікраарганізмаў-паразітаў, прычым ні колер, ні пах прадуктаў не пагаршаецца (мал. 16). І ў звычайнай гразі і пыле вельмі многа бактэрыяў, гніласных мікраарганізмаў і цвілі. На дапамогу зноў прыходзіць радыяцыя. Калі яшчэ апраменьіць і ўпакоўку, у якой перавозіцца ўраджай, прадукты захоўваюцца вельмі доўга. Цяпер можна перавозіць трапічную садавіну і экзатычную агародніну ў любую краіну свету, не баючыся, што яны сапсуюцца ў дарозе.

Мал. 16. Радзьяцыйнае апраменьванне прадуктаў не мяняе іх якасці і дазваляе захоўваць іх больш працяглы час.



АПРАМЕНЕНАЯ ФРУКТЫ

НЕАПРАМЕНЕНАЯ ФРУКТЫ



Якраз гэтак жа можна стэрылізаваць і прадукцыю жывёлагадоўлі. У апрамененай упакоўцы малако захоўваецца без халадзільніка некалькі месяцаў, як і мяса сельскагаспадарчых жывёл.

8. МАГІЧНЫ МЕТАЛ УРАН

Мы ўжо адзін раз успаміналі уран, які дапамог вылічыць узрост Зямлі. Гэта вельмі цяжкі метал, цяжэйшы за свінец. Вы, зразумела, ніколі не трымалі яго ў руках і нават не бачылі, таму

што ён вельмі дарагі і адразу адпраўляецца на атамны рэактар. І яшчэ таму, што ён небяспечны, паколькі ўсе ядры урану радыеактыўныя. Праўда, яны распадаюцца вельмі павольна, выпраменьваючы альфа-часціцы.

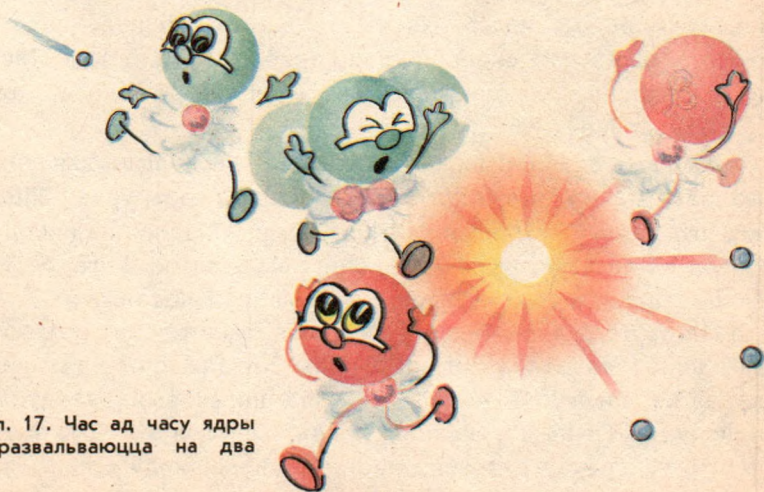
У атама урану ў ядры налічваецца 92 пратоны і звыш 140 нейтронаў. Здаецца, мы з вамі ўжо нумаравалі ізатопы? Ну, усё роўна — гэта карысна зрабіць яшчэ раз.

Запомніце: для таго каб прысвоіць нумар ізатопу, трэба скласці нуклоны — пратоны і нейтроны, якія ёсць у яго ядры. Дык вось, калі ў ядры урану 143 нейтроны, то нумар гэтага ізатопа будзе: $92 + 143 = 235$, і ён называецца уран-235. Калі нейтронаў 146, — гэта уран-238.

Перыяд паўраспаду урану-235 «усяго» каля 700 млн гадоў. За час існавання Зямлі большасць яго ядзер распалася, так што ў прыродзе яго зусім мала. Амаль увесь здабываемы на Зямлі уран складаецца з ізатопа-238, таму што яго перыяд паўраспаду — 4,5 млрд гадоў і ён яшчэ не паспеў распасціся.

Нуклонаў у ядры урану так многа, што яны дрэнна ведаюць адзін аднаго і з цяжкасцю абменьваюцца ядзернымі сіламі прыцяжэння. Ім наогул было б лепш падзяліцца на некалькі частак, каб жыць у кожным ядры цясней і дружнай. Калі-нікалі гэта і адбываецца. Час ад часу ядры урану развальваюцца на два кавалкі-асколкі, якія ўяўляюць больш лёгкія ядры новых атамаў (мал. 17).

Гэтыя новыя ядры забіраюць сабе роўна столькі нейтронаў, колькі ім патрэбна. Пры гэтым заўсёды застаецца некалькі нікому



Мал. 17. Час ад часу ядры урану развальваюцца на два асколкі.

не патрэбных нейтронаў, якіх ва уранавым ядры было ў лішку. Акрамя таго, пры развале урану на асколкі вылучаецца даволі многа энергіі.

Для таго каб ва уранавым ядры выспела «рэвалюцыйная» сітуацыя, якая прыводзіць да яго дзялення, патрэбна працяглая «падпольная» работа. Калі не ўмешвацца, яна зацягваецца на мільярды гадоў. Зусім іншая справа, калі ва ўзбуджаны нуклонны натоўп прыходзіць «лідэр-рэвалюцыянер» збоку. Ён хутка арганізуюе «народ» — і дзяленне урану забяспечана!

Вывучаючы ўласцівасці урану, вучоныя разважалі так. Дзяленне — гэта, вядома, унутраная ядзерная справа. Лепш не ўмешвацца. Хаця парачка лішніх вылятаючых пры дзяленні нейтронаў можа на што-небудзь спатрэбіцца. Але ж, акрамя гэтага, вылучаецца вельмі многа энергіі! Энергія — гэта добра, энергія заўсёды патрэбна. Не, мабыць, варта ўмяшацца... Але дзе ўзяць «лідэраў»?

Эўрыка! А лішнія нейтроны пры дзяленні на асколкі? Хіба яны не могуць праводзіць «рэвалюцыйную» работу ў суседніх ядрах урану? У прыродзе рэвалюцыі здараюцца рэдка. Значыць, трэба падняць «свядомасць» урану, каб паскорыць дзяленне многіх ядзер і атрымаць ад іх энергію ў дастатковай колькасці!

9. ЯК ПРАЦУЕ АТАМНЫ РЭАКТАР!

«Сусветнай уранавай рэвалюцыі» не адбываецца таму, што ў прыродзе ядры урану знаходзяцца далёка адзін ад аднаго. Нейтроны, якія ўзнікаюць пры дзяленні, нават не далятаюць да іншых уранавых ядзер, гінучы па дарозе. Першае, што патрабуецца: па крыхах сабраць уран і зрабіць з яго злітак. Паспрабавалі: дзяленне паскорылася, але энергіі атрымалася малавата. У чым справа?

Вучоныя знайшлі яшчэ два спосабы паскорыць дзяленне. Папершае, значна лягчэй прымусіць дзяліцца ядры урану-235. Праўда, яго мала ў прыродзе. Ну, што ж, прыйшлося аддзяляць гэты ізатоп ад астатняга урану і рабіць новыя зліткі. Гэта, безумоўна, вельмі дорага, але ж энергія яшчэ даражэйшая!

Па-другое, лішнія нейтроны, якія вылятаюць пры дзяленні, звычайна занадта энергічныя. Яны пралятаюць праз уранавае ядро, не паспеўшы нават як трэба пагаварыць з «нуклонным народам». Трэба іх неяк астудзіць, запаволіць. Для гэтага на шляху нейтронаў патрэбна паставіць перашкоду з вады, графіту

або іншага лёгкага і таннага матэрыялу, у якім нейтроны пакінуць лішнюю энергію.

Па сутнасці, мы ўжо расказалі, як працуе атамны рэактар. Кожнае ядро, якое дзеліцца, выпраменьвае два або тры залішнія нейтроны, якія дзеляць два іншыя ядры. Тыя выпраменьваюць ужо 4—6 нейтронаў, якія дзеляць 4 ядры урану, і гэтак далей. Адбываецца *ланцуговая рэакцыя дзялення*, пры якой нейтроны размнажаюцца настолькі хутка, а энергіі вылучаецца так многа, што як бы не здарыўся выбух!

Трэба ўмяшацца і не дапусціць усеагульнага уранавага «паўстання». У атамнай бомбе ў гэты працэс не ўмешваюцца, і вы ведаеце, да якіх разбурэнняў можа прывесці выбух такой бомбы.

Адрозненне атамнай бомбы ад атамнага рэактара заключаецца ў тым, што для атрымання мірнай энергіі нейтронамі трэба кіраваць: дабаўляць іх, калі энергіі недастаткова, і знішчаць лішніх, калі вылучаецца занадта многа энергіі, якая пагражае выбухам.

Знішчаюць лішнія нейтроны з дапамогай спецыяльных рэчываў, якія прагна іх паглынаюць. Гэта можа быць, напрыклад, бор або кадмій. З гэтых рэчываў вырабляюць спецыяльныя стрыжні — паглынальнікі нейтронаў, якія апускаюць у актыўную зону. Калі ў ёй нейтронаў утварылася больш, чым трэба, стрыжні апускаюць глыбей; калі іх недастаткова, стрыжні прыпаднімаюць.

Вось цяпер амаль усё. Мы атрымалі атамны кацёл, у якім пастаянна вылучаецца энергія ў патрэбнай колькасці. Застаецца выкарыстаць яе з толкам. Будзем прапампоўваць па трубах, якія пранізваюць кацёл, ваду. У рэактары такая высокая тэмпература, што вада закіпае і ўтвараецца многа пары. Пару накіроўваюць у турбіну, якая, верцячыся, выпрацоўвае электрычны ток.

Атамная электрастанцыя падобная на вугальную або на такую, якая працуе на іншым відзе паліва. Але уранавае паліва значна больш каларыйнае, «падкідваць» яго ў топку трэба мала і вельмі рэдка. У дадатак, вакол атамнай электрастанцыі не бывае сажы і дыму.

Для ацяплення дамоў, асвятлення, работы фабрык і заводаў трэба вельмі многа электрычнасці. Вугаль і нафта становяцца дарагімі, а некаторым дзяржавам яны нават «не па кішэні». Вось тут і спатрэбілася выдатнае вынаходства — атамныя электрастанцыі, якіх будзецца ўсё больш. Праўда, з уранавым палівам трэба абыходзіцца вельмі асцярожна. Людзі, што працуюць на АЭС, — не простыя качагары, а вопытныя спецыялісты, якія добра ве-

даюць тайны атамнага ядра. Любая іх памылка можа прывесці да выбуху і цяжкіх вынікаў.

Атамныя рэактары выкарыстоўваюць там, дзе патрэбны даўгавечныя і магутныя крыніцы энергіі. Пабудавана ўжо многа атамных ледаколаў, якім не трэба часта заходзіць у порт, каб заправіцца палівам. А пра добрыя справы атамных ледаколаў, якія працуюць у запалярных морах, вы і самі, несумненна, многа чулі.

Захапіўшыся энергіяй, мы ледзь не забылі расказаць яшчэ адным важным прымяненні атамнага рэактара. У ім жа галоўныя дзеючыя асобы — нейтроны! Іх можна выкарыстоўваць не толькі для атрымання энергіі з урану.

Яшчэ раз напамнім, што ізатопы хімічных элементаў, у тым ліку радыеактыўныя, адрозніваюцца адзін ад аднаго колькасцю нейтронаў у іх ядрах. Для таго каб атрымаўся адзін ізатоп з другога, у ядро трэба дадаваць адзін або парачку нейтронаў. У рэактары гэта — калі ласка!

Вось адзін з прыкладаў. Змесцім звычайнае золата-197 у пучок нейтронаў, якія выходзяць з рэактара, і апраменім яго. У выніку атрымаецца радыеактыўнае золата-198, якое можна прымяняць для дыягностыкі хвароб печані!

Менавіта ў атамным рэактары атрымліваюць большасць патрэбных радыеактыўных ізатопаў.

10. ЭНЕРГІЯ ДЛЯ ПАТОМКАЎ

Наколькі ні добры атамны рэактар для атрымання энергіі, усё ж яго работа прыносіць многа клопату. Вы ўжо ведаеце, што пры дзяленні цяжкіх ядзер урану ў велізарнай колькасці ўтвараюцца радыеактыўныя асколкі. Многія з іх маюць вельмі вялікія перыяды паўраспаду і застаюцца небяспечнымі тысячы гадоў.

Адходаў ад работы атамных электрастанцый утвараецца ўсё больш. Куды іх дзяваць? Гэта ператварылася ў вялікую праблему, якую вельмі нялёгка вырашыць. Мы ўжо і не гаворым, што здабыць уран, вырабіць з яго стрыжні для рэактара і даставіць гэты радыеактыўны груз — усё гэта цяжкая і небяспечная работа.

Існуе яшчэ адна магчымасць атрымліваць энергію ад ядзер, прама процілеглая рэакцыі дзялення. Справа ў тым, што пры зліцці лёгкіх ядзер, у якіх змяшчаецца ўсяго некалькі нуклонаў,

таксама вылучаецца энергія, і яе можна выкарыстаць пры выкананні пэўных умоў. Пакуль яшчэ іх выканаць не ўдаецца. Але, магчыма, к канцу нашага стагоддзя рэактары новага тыпу запрацуюць. Гэтыя рэактары называюцца *тэрмаядзернымі*. Сваю назву яны атрымалі таму, што адна з умоў іх работы — вельмі высокая тэмпература, каля 100 млн градусаў! Якраз пры такой тэмпературы адбываецца зліццё лёгкіх ядзер — ізатопаў вадароду.

Урану ў прыродзе не так ужо і многа. І як бы мала ні расходвалі яго атамныя рэактары, усё роўна гэты метал хутка стане вельмі дэфіцытным. Затое патрэбных ізатопаў вадароду ў морах і акіянах — колькі пажадана! Гэта невычэрпная крыніца для тэрмаядзернай энергетыкі, і можна спадзявацца, што ў недалёкім будучым чалавецтва перастане адчуваць энергетычны голад, паколькі энергію ў лішку будуць выпрацоўваць тэрмаядзерныя электрастанцыі.

РАДЫЯЦЫЯ ВАКОЛ НАС

Радуючыся сонечнаму святлу і цяплу, ці часта мы задумваемся, што гэта толькі розныя віды энергіі, якую даносяць да нас выпраменьванні?

Для таго каб адчуць радыеактыўныя выпраменьванні, у людзей і жывёл няма органаў пачуццяў, і без спецыяльных прылад іх нельга выявіць. Але яны ёсць і заўсёды былі ў прыродзе, задоўга да таго, як чалавецтва навучылася штучна ствараць і выкарыстоўваць радыеактыўнасць. Аказалася нават, што натуральная радыяцыя — *радыяцыйны фон* — адыгрывала важную ролю ў развіцці біялагічнага жыцця на Зямлі.

Радыяцыйны фон складаецца з касмічных прамянёў, выпраменьванняў радыеізатопаў зямной кары, а таксама радыяцыі, вырабленай людзьмі.

1. КАСМІЧНЫЯ ПРАМЯНІ

Ажыццяўляючы падарожжа ў бязмежнай касмічнай прасторы, наша планета бесперапынна «абстрэльваецца» выпраменьваннямі. Частка часціц з вельмі высокай энергіяй прыходзіць ад бліжэйшай зоркі — Сонца, дзе яны нараджаюцца ў тэрмаядзерных працэсах. Але больш за ўсё — з глыбінь космасу. Што гэта за часціцы?

Большасць касмічных «прышэльцаў» — добра вядомыя нам пратоны і зусім нямнога (менш за 5 %) — альфа-часціцы. У касмічных прамянях сустракаюцца і больш цяжкія ядры, але іх так мала, што спецыяльна разглядваць іх мы не будзем.

Адкуль бяруцца касмічныя часціцы, дзе зараджаюцца і што з імі адбываецца на доўгім шляху да Зямлі? Усё гэта вельмі важныя пытанні, якімі цікавіліся самыя выдатныя вучоныя нашага стагоддзя. Самыя дапытлівыя з вас могуць атрымаць адказы на гэтыя пытанні ў кнігах аб космасе, заадно пазнаёміўшыся з захапляючым светам неабсяжнага Сусвету. А мы разгледзім, што адбываецца з пратонамі і альфа-часціцамі, калі яны ўрываюцца ў калязямную прастору.

Энергія касмічных часціц вельмі вялікая: у некаторых — каля 1 джоўля (Дж). У 1 г змяшчаецца каля 600 000 000 000 000 000 000 000, або $6 \cdot 10^{23}$ пратонаў. Калі б кожны з іх валодаў энергіяй у 1 Дж, можна толькі ўявіць сабе, колькі бедстваў нарабіў бы ўсяго 1 г такога касмічнага рэчыва. Гэта ж значна больш за энергію любых тэрмаядзерных выбухаў, праведзеных на нашай планеце!

На шчасце, касмічныя часціцы «бамбардзіруюць» Зямлю па адной. Да таго ж ад іх згубнага дзеяння нас засцерагае магутная паветраная абалонка — атмасфера. У атмасферы яны паступова трацяць сваю энергію і, узаемадзейнічаючы з ядрамі хімічных элементаў паветра, утвараюць гама-кванты, нейтроны, бэта-часціцы і іншыя. Часціцы звышвысокіх энергій, якія прыходзяць з далёкага космасу, называюцца *першасным касмічным выпраменьваннем*. Пасля ўварвання ў атмасферу ўзнікаюць *другасныя касмічныя прамяні* (мал. 18).

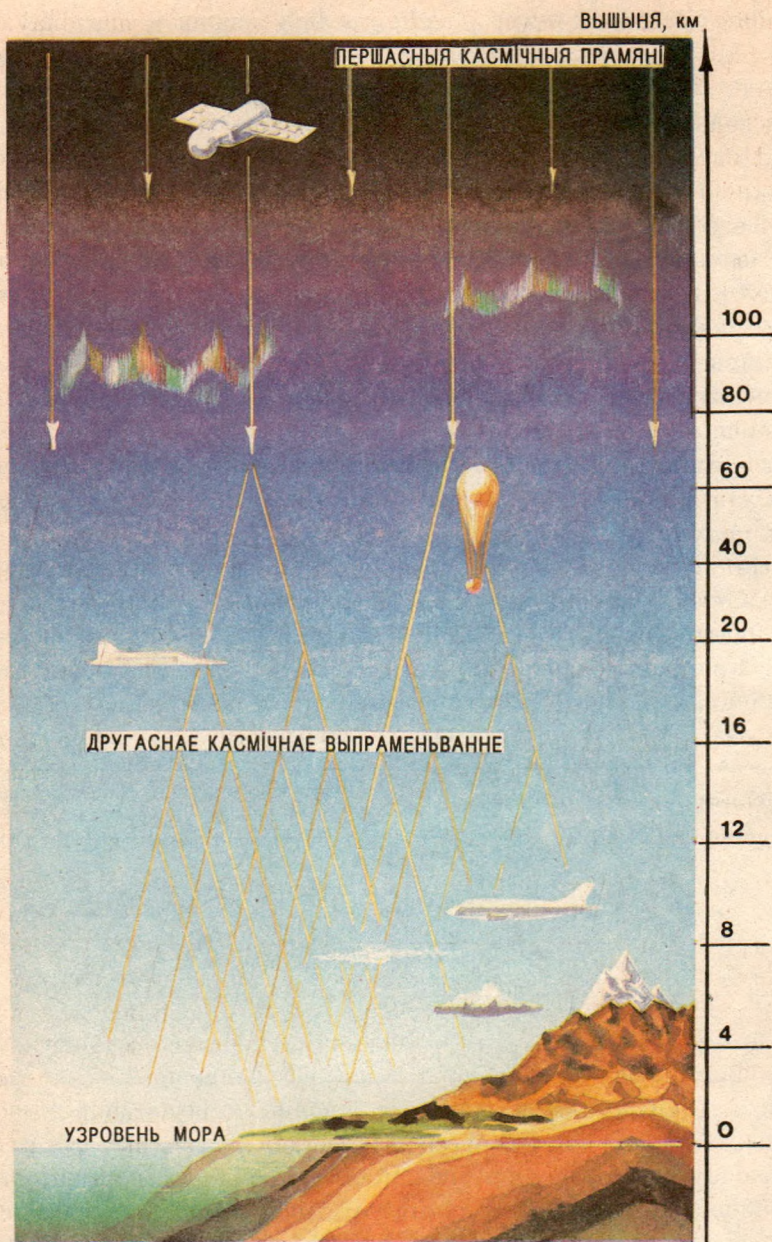
На шляху да зямной паверхні паглынаецца і другаснае выпраменьванне. Да зямлі яно амаль не даходзіць. Але высока ў гарах, дзе паветра разрэджана, інтэнсіўнасць касмічных прамянёў вялікая. Калі долю дайшоўшага выпраменьвання на ўзроўні мора прыняць за адзінку, то атрымаецца такая табліца:

Табліца 1

Вышыня ад узроўню мора, км	Інтэнсіўнасць касмічнага выпраменьвання адносна да ўзроўню мора
0	1
4	5,7
8,848 (Эверэст)	28,6
10	83
20	363

Можна запомніць, што ў ніжняй атмасферы інтэнсіўнасць касмічнага выпраменьвання з вышынёй падвойваецца кожныя 1500 м. Такім чынам, жыхары гор, чабаны, якія пасвяць жывёлу на высакагорнай пашы, апраменьваюцца больш моцна, чым адпачываючыя на беразе мора. Яшчэ мацней касмічнае апраменьванне дзейнічае на пасажыраў самалётаў, бо сучасныя аэралайнеры лятаюць на вышыні 10—12 км! А найбольш небяспечныя касмічныя прамяні для касманаўтаў, паколькі яны пазбаўлены надзейнай аховы паветранай абалонкі, а праз тонкія сценкі карабля-спадарожніка прамяні высокай энергіі пранікаюць без цяжкасці.

Небяспека пераапраменьвання — адна з сур'ёзных праблем



Мал. 18. Касмічны фон Зямлі.

працяглых міжпланетных падарожжаў. За час палёту на Марс або Венеру зусім магчымыя ўспышкі на Сонцы, пры якіх у касмічную прастору выкідваецца велізарная колькасць першасных кас-

мічных часціц. Іх энергія не такая вялікая, як у пратонаў або альфа-часціц, што прыходзяць з глыбінь Сусвету, і да паверхні Зямлі яны амаль не даходзяць. Але ў міжпланетнай прасторы сонечныя касмічныя выпраменьванні вельмі небяспечныя.

Цяпер мы ведаем, што Зямля днём і ноччу, летам і зімой бесперапынна «бамбардзіруецца» касмічнымі прамянямі. Гэта выпраменьванне ўтварае *касмічны фон*, які пастаянны і залежыць толькі ад вышыні мясцовасці. Ён невялікі, і для людзей практычна не небяспечны. Нашы далёкія продкі таксама падвяргаліся ўздзеянню касмічнага фону. Гэты фон не зменіцца і ў бліжэйшыя тысячы гадоў.

А цяпер уявім сабе на хвіліну, што раптоўна паток першасных касмічных часціц спыніўся. Ці значыць гэта, што адначасова спыніцца і апраменьванне? Аказваецца, не. Справа ў тым, што на вялікай вышыні (прыкладна 15 км ад паверхні Зямлі) касмічныя выпраменьванні ператвараюць некаторыя ядры атамаў паветра ў радыеактыўныя. Так узнікаюць цяжкі ізатоп вадароду — трытый і радыеактыўны вуглярод — радыевуглярод.

Распадаючыся, гэтыя ізатопы яшчэ доўга выпраменьваюць бэта-прамяні. Перыяд паўраспаду ў трытую $T = 12,3$ года, а ў радыевугляроду — 5730 гадоў! Калі вы паспелі прызабыць, што такое перыяд паўраспаду, зазірніце яшчэ раз у раздзел «Қарысныя атамы» і прачытайце п. «Колькі гадоў Зямлі, або Атамны гадзіннік».

У паветранай прасторы трытый і радыевуглярод пад уздзеяннем касмічнага выпраменьвання ўтвараюцца бесперапынна. Але яны і распадаюцца бесперапынна, так што ў прыродзе заўсёды ёсць некаторы «запас» гэтых радыеізаатопаў. Як ён расходуецца?

Разам са звычайным вадародам і вугляродам трытый і радыевуглярод раўнамерна перамешваюцца і трапляюць у ваду, лісты, дрэвы, у арганізм жывёл і чалавека. Такім чынам, усе жывыя істоты змяшчаюць нямнога радыеактыўнасці, утворанай касмічным фонам. Праўда, гэта колькасць настолькі мізэрная, што не з'яўляецца небяспечнай. Але спецыялісты ўмеюць вымяраць і такую малую радыеактыўнасць і нават навучыліся выкарыстоўваць яе ў розных навуковых эксперыментах. Напрыклад, з дапамогай трытую вывучаюць, як хутка перамешваецца паветра ў атмасферы, а вада — у азёрах і морах. Радыевуглярод расліны спажываюць з паветра, а жывёлы — пры дыханні і з ежай. Калі жывы арганізм памірае, спыняецца і паступленне радыевугляроду, а ўжо назапашаная яго колькасць пачынае змяншацца з прычыны рас-

паду. Чым больш часу прайшло пасля гібелі, тым менш у астанках радыеактыўнасці. Так, метадам радыевугляроднай храналогіі можна вызначыць не толькі, калі пахаваны ў пірамідах старажытна-егіпецкія фараоны (гэта і так вядома з летапісаў), але і час іншых цікавых фактаў з гісторыі.

Зрэшты, як па ўбыванню радыеактыўнасці вымяраецца час, мы даведаліся з раздзела «Карысныя атамы». Цяпер мы пазнаёміліся з касмічным фонам як крыніцай апраменьвання чалавека. Але існуюць і іншыя крыніцы радыеактыўнасці ў прыродзе, якія дзейнічаюць на чалавечы арганізм больш моцна, чым касмічныя прамяні і ўтвораныя імі радыеактыўныя ізатопы.

2. РАДЫЯЦЫЯ ГЛЕБЫ І ЗЯМНЫХ ПАРОД

Нам з вамі яшчэ не адзін раз прыйдзеца карыстацца перыядам паўраспаду. Самае лепшае, калі вы ўважліва перачытаеце раздзел «Карысныя атамы». Успомнілі? Перыяд паўраспаду T — гэта час, на працягу якога з усёй колькасці радыеактыўных ядзер дадзенага хімічнага элемента застаецца роўна палова. Дарэчы, з яго дапамогай мы даведаліся, як вучоныя вылічылі ўзрост Зямлі.

Значыць, наша планета ўтварылася прыкладна 4,5 млрд гадоў назад. У яе склад увайшлі ўжо гатовыя хімічныя элементы, у тым ліку радыеактыўныя. З тых далёкіх часоў амаль усе яны распаліся. Засталося толькі некалькі відаў вельмі доўгажывучых радыеізаатопаў, у якіх перыяд паўраспаду — многія сотні мільёнаў і нават мільярды гадоў. Іх не так многа, і мы іх абавязкова назавём. Але спачатку яшчэ раз напомним, як нумаруюць ізатопы.

Масавы лік ізатопа роўны ліку ўсіх нуклонаў (пратонаў і нейтронаў), якія ўваходзяць у яго ядро. Напрыклад, калі ў ядры ёсць усяго адзін пратон, — гэта звычайны вадарод-1. Калі да пратона дабавіць адзін нейтрон, атрымаецца цяжкі вадарод-2, а калі два нейтроны, — вадарод-3, або вядомы нам радыеактыўны трэці, які ўтвараюць у атмасферным паветры касмічныя прамяні.

Якія ж радыеізаатопы захаваліся на Зямлі? З моманту яе ўтварэння ўсё яшчэ працягваюць распадацца калій-40, уран-238, уран-235, торый-232 і зусім нямнога рэдкага радыеактыўнага ізатопа рубідыю-87. Яны змяшчаюцца ў глебе, горных пародах, карысных выкапнях — ва ўсіх рэчывах, з якіх складаецца Зямля, і ствараюць *натуральны зямны радыяцыйны фон*.

Больш за ўсё калію-40 у выкапнёвых калійных солях, але

ў невялікай колькасці ён ёсць усюды — у глебе, горных пародах, вадзе, ежы і нават у чалавечым целе.

Цяжкія хімічныя элементы — уран і торый — таксама сустракаюцца ўсюды. Праўда, у прыродзе іх зусім мала. Калі ў якой-небудзь мясцовасці доля урану большая за адну тысячную ў агульнай масе пароды, гэта ўжо уранавае радовішча. Там яго здабываюць для выкарыстання на атамных электрастанцыях.

Перыяд паўраспаду урану-238 роўны ўзросту Зямлі — прыкладна 4,5 млрд гадоў. Такім чынам, у момант утварэння нашай планеты гэтага ізатопа было ўдвая больш, чым цяпер. У урану-235 $T=7 \cdot 10^8$ гадоў. Паколькі ён распадаецца хутчэй, на Зямлі яго засталася мала, і амаль увесь прыродны уран складаецца з ізатопа ^{238}U .

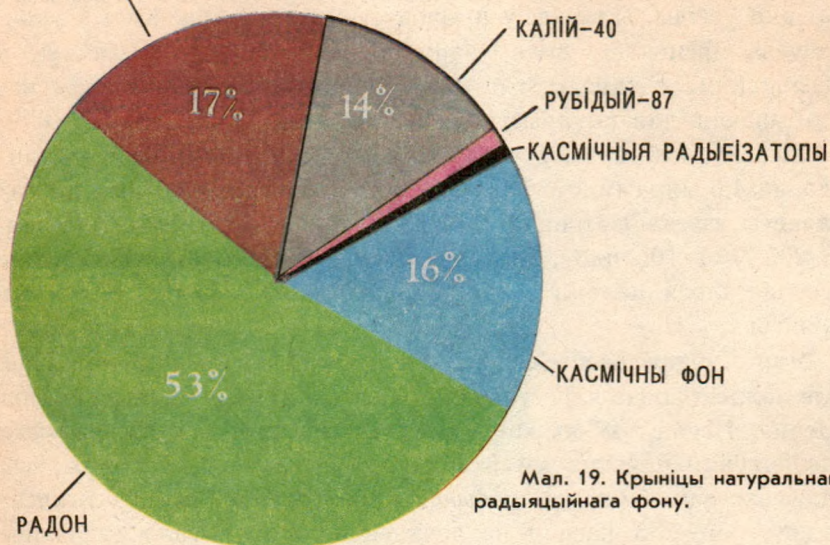
Ядры урану распадаюцца, выпраменьваючы альфа-часціцы. Але кожнае новае ядро таксама радыеактыўнае і таксама распадаецца. Перад тым як канчаткова ператварыцца ў свінец, уран распадаецца паўтара дзесятка разоў, утвараючы прамежкавыя радыеактыўныя ядры — *радыеактыўны рад*. У радыеактыўным радзе урану-238 распад заканчваецца, калі ўзнікае стабільны (нерадыеактыўны) свінец-206. Рад урану-235 заканчваецца ўтварэннем стабільнага свінцу-207.

Торый-232 таксама мнагакратна распадаецца. Гэта значыць, што ў яго ёсць свой радыеактыўны рад са свінцом-208 на канцы. Вы, напэўна, бачылі свінец — цяжкі шэры метал. Рыбакі робяць з яго добрыя грузілы. Дык вось, амаль увесь свінец, які сустракаецца на Зямлі, утварыўся ў выніку распаду урану або торыю.

Сярод прамежкавых ядзер любога радыеактыўнага рада вылучым радон. Можа, вам даводзілася чуць аб карысных для здароўя радоновых ваннах? Гэта якраз і ёсць вада, у якой раствараны гэты самы радон. Справа ў тым, што радон з'яўляецца газам, а значыць, ён лёгка выцякае ў паветра, асабліва калі ўтвараецца ў разбуранай пародзе — глебе, звычайным пяску. У зямлі, багатай уранам або торыем, заўсёды многа і радону. У такіх месцах звычайна больш гэтага газу ў паветры, куды ён трапляе праз поры і трэшчыны.

Зямны і касмічны фон складаюць *натуральны радыяцыйны фон* дадзенай мясцовасці. Тыя або іншыя выпраменьванні гэтага фону бесперапынна апраменьваюць усе жывыя арганізмы, у тым ліку і чалавека. На малюнку 19 паказаны долі кожнай радыеактыўнай крыніцы фону ў працэнтах. Мы бачым, што амаль пяць шостых натуральнай радыяцыі, якая ўздзейнічае на чалавека, — гэта вы-

АСТАТНІЯ ІЗАТОПЫ РАДЫЕАКТЫЎНЫХ РАДОЎ УРАНУ І ТОРЫЮ



Мал. 19. Крыніцы натуральнага радыяцыйнага фону.

праменьванне прыродных радыеактыўных ізатопаў, што змяшчаюцца ў зямлі, прычым больш паловы — выпраменьванне радону.

Натуральная радыяцыя зусім нязначная. Яна існуе многія тысячы гадоў і ніколі не выклікала трывогі ў многіх пакаленняў людзей. Вядома, у залежнасці ад таго, дзе пражывае чалавек, радыяцыйны фон можа быць большы або меншы за сярэднюю яго велічыню. Напрыклад, на ўзбярэжжах штатаў Керала і Таміл Наду ў Індыі (на поўдні краіны) радыяцыя ў дзесяткі разоў большая за сярэднюю, паколькі там пяскі змяшчаюць вельмі многа торыю-232. Прыкладна ў 100 разоў вышэйшы фон у некаторых месцах Бразіліі. Праўда, насельніцтва ў такіх мясцовасцях малалікае.

Больш урану і торыю звычайна ў гранітах, таму радыеактыўны фон павышаны ў некаторых раёнах скандынаўскіх краін (Нарвегія, Швецыя, Фінляндыя), дзе гранітныя пароды выходзяць проста на паверхню, у французскіх Альпах. Акрамя таго, у гарах радыяцыя вышэйшая і за кошт касмічнага фону.

Аднак большасць людзей Зямлі жыве там, дзе натуральны радыеактыўны фон малы. Ёсць нават мясцовасці, дзе ён у некалькі разоў ніжэйшы, чым у сярэднім па планеце. Напрыклад, да Чарнобыльскай аварыі ў Беларусі самае нізкае натуральнае апраменьванне назіралася на поўдні, у Палессі.

Пытанні і заданні

1. Якія радыеізатопы ствараюць радыяцыйны фон у прыродзе?
2. Знайдзіце на карце свету месцы, дзе натуральны радыеактыўны фон павышаны. Чым гэта абумоўлена?

3. ПРЫРОДНАЯ РАДЫЕАКТЫЎНАСЦЬ І ЧАЛАВЕК

Усё, што пабудавана людзьмі, зроблена з прыродных матэрыялаў — гліны, пяску, дрэва, якія змяшчаюць натуральныя доўгажывучыя радыеізатопы: калій-40, альфа-, бэта- і гама-выпраменьваючыя прамежкавыя ядры радоў урану і торыю-232, уключаючы радон.

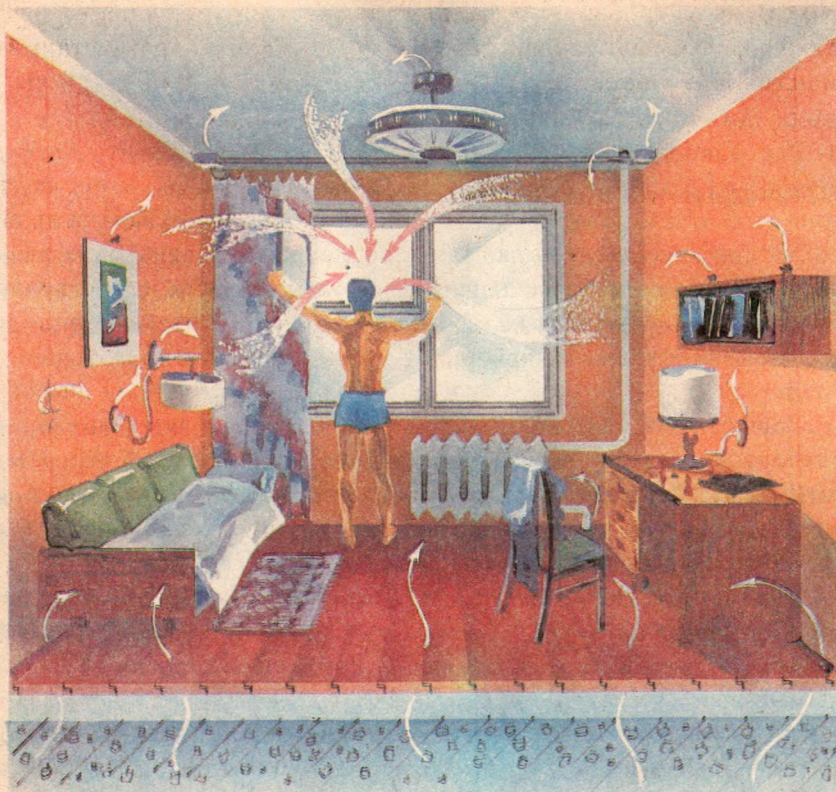
Здабываючы карысныя выкапні, чалавек расколае і здрабняе пароду, перамяшчае велізарную колькасць глебы і грунту. Пры гэтым каля шахтаў і руднікоў у паветры заўсёды павышан фон радону, у адным месцы памяншаецца, а ў другім павялічваецца канцэнтрацыя радыеактыўных рэчываў.

Пры ўнясенні калійных і фосфарных угнаенняў на палях таксама пераразмяркоўваецца радыеактыўнасць. Адчувальны ўплыў чалавечай дзейнасці на радыяцыйны фон пры атрыманні цяпла і электрычнасці.

На цеплавых электрастанцыях спальваюць вугаль, мазут, торф, якія, як і ўсе рэчывы на Зямлі, змяшчаюць прыродныя радыеізатопы. Аднак ніякае полымя не здольнае разбурыць ядры. Радыеактыўнасць разносіцца з дымам і пылам, а вялікая яе частка застаецца ў попеле. Пры спальванні паліва яго аб'ём памяншаецца ў 5—10 разоў. Прыкладна ў столькі ж разоў павялічваецца канцэнтрацыя радыеізатопаў у незгаральных адходах электрастанцый.

Попел выкарыстоўваюць у будаўніцтве. З яго, напрыклад, робяць бетон. Разам з пажыўнымі сокамі ў дрэвы пападае толькі частка радыеактыўных рэчываў з глебы. У той жа час у бетоне радыеактыўнасці больш, чым у сярэднім на мясцовасці, таму што ў яго дабаўляюць кампаненты з павышанай канцэнтрацыяй радыеізатопаў, напрыклад попел. Значыць, у цагляных дамах натуральны фон прыкладна ў 2 разы, а ў бетонных — у 3 разы вышэйшы, чым у драўляных.

Мы ўжо не раз гаварылі, што сярод ізатопаў радыеактыўных радоў урану і торыю ёсць газападобны радон. У закрытым памяшканні радон увесь час назапашваецца, пранікаючы праз шчыліны ў падлозе, трэшчыны і поры сцен, бо торый і уран змяшчаю-



Мал. 20. Радон у кватэры.

ца ва ўсіх будаўнічых матэрыялах (мал. 20). Зменшыць выпраменьванне радону ў кватэры можна, калі яе часцей праветрываць. Зімой гэта зрабіць цяжэй, таму і апраменьванне большае. Як яшчэ можна пазбавіцца ад радону? Фон стане меншым, калі добра запакаваць шчыліны і замазаць адтуліны, а падлогу пакрыць якім-небудзь малапранікальным матэрыялам. І ўсё ж самы лепшы і просты сродак — адкрываць часцей вокны, а на блягі канец — фортачку. Свежае паветра заўсёды карыснае!

4. КРЫНІЦЫ ШТУЧНАГА АПРАМЕНЬВАННЯ

Найбольшае пераразмеркаванне радыеактыўных рэчываў на Зямлі чалавецтва зрабіла за апошнія стагоддзе. Раней жа ніколі не вялося такой здабычы карысных выкапняў, такога будаўніцтва.

Ніколі не патрабавалася столькі цяпла і электрычнай энергіі, паколькі не было гіганцкіх заводаў, фабрык і самых разнастайных машын, але радыеактыўны фон павысіўся не толькі па гэтай прычыне. З той пары як нямецкі фізік Вільгельм Конрад Рэнтген у 1895 г. адкрыў рэнтгенаўскія прамяні, а ў 1896 г. француз Антуан Анры Бекерэль — натуральную радыеактыўнасць урану, людзі навучыліся самі ствараць радыеактыўныя выпраменьванні з дапамогай спецыяльных прылад. Збылася і мара сярэднявечных алхімікаў. Праўда, змешваючы розныя хімічныя рэчывы, яны стараліся атрымаць золата. Цяпер вучоныя ўмеюць атрымліваць не толькі золата, але і любыя іншыя элементы, любыя іх ізатопы.

У раздзеле «Карысныя атамы» мы ўжо расказвалі, як шырока прымяняюцца штучныя радыеізатопы і мечаныя імі рэчывы.

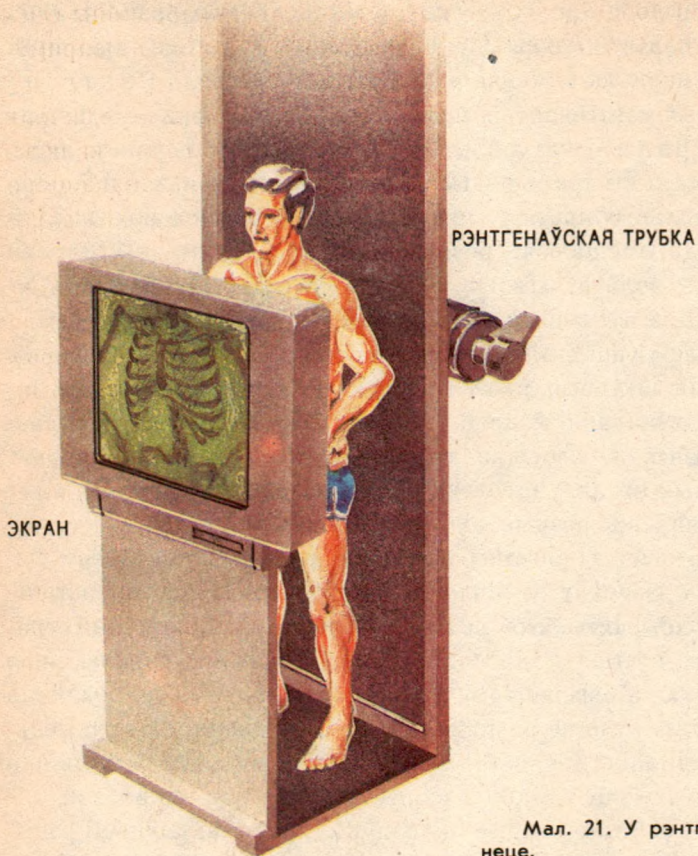
Пры распазнаванні хвароб і лячэнні іх з дапамогай радыеактыўных рэчываў непазбежна апраменьваюцца не толькі хворыя, але і здаровыя органы чалавека. Апраменьваюцца і ўрачы, хаця яны і прымяняюць розныя ахоўныя сродкі.

Пасля таго як закончаны эксперымент з выкарыстаннем радыеактыўных ізатопаў у біялогіі, хіміі, геалогіі, застаюцца небяспечныя **радыеактыўныя адходы**. Большасць непатрэбных радыеактыўных рэчываў адвозяць у спецыяльныя сховішчы, якія часам называюць могільнікамі. У могільніках адходы знаходзяцца да таго часу, пакуль не распадуцца. Вельмі важна, каб радыеактыўнасць не трапіла ў паветра або ў падземныя воды, адкуль яна можа распаўсюдзіцца, забрудзіўшы навакольнае асяроддзе.

Як бы там ні было, любыя працэдуры з радыеактыўнымі рэчывамі (перавозка, выкарыстанне, утварэнне адходаў) павялічваюць **антрапагенны** (створаны чалавекам) **радыеактыўны фон**.

У кожнага радыеізатопа — свой перыяд паўраспаду, і ён застаецца небяспечным да таго часу, пакуль поўнасю не распадуцца. Але існуюць і прылады, якія ствараюць высокаэнергетычнае выпраменьванне толькі тады, калі гэта патрэбна, «па заказу». Прыладу можна выключыць — і выпраменьванне спыніцца.

Кожны з вас, без сумнення, бываў у рэнтгенаўскім кабінце. Калі вы становіцеся перад экранам, урач уключае рэнтгенаўскую трубку. Рэнтгенаўскія прамяні лёгка праходзяць праз лёгкія або іншы орган, і на экране паяўляецца адлюстраванне «ўнутранай будовы» чалавека (мал. 21). Урачу гэта дапамагае вызначыць, хворы пацыент або здаровы. Многія людзі ва ўсіх краінах рэгулярна праходзяць рэнтгенаўскае абследаванне. Хаця з часоў Рэнтгена, вынаходніка рэнтгенаўскай трубки, прылада стала знач-



Мал. 21. У рэнтгенаўскім кабінце.

на больш бяспечнай, працэдура — больш дасканалай і карцейшай, усё роўна такое апраменьванне чалавека можна параўнаць з апраменьваннем ад натуральнага радыеактыўнага фону.

Рэнтгенаўскія прамяні вельмі падобныя на гама-кванты, але звычайна іх энергія крыху меншая і пранікаюць яны ў рэчыва не так глыбока. Самі гама-кванты таксама знаходзяць прымяненне ў медыцыне — для лячэння пухлін унутраных органаў. Такія апраменьвальныя апараты называюць гама-пушкамі (мал. 22). У гама-пушцы ёсць радыеактыўная крыніца — вялікая колькасць ядзер якога-небудзь гама-выпрамяняючага радыеізатопа з перыядам паўраспаду некалькі гадоў.

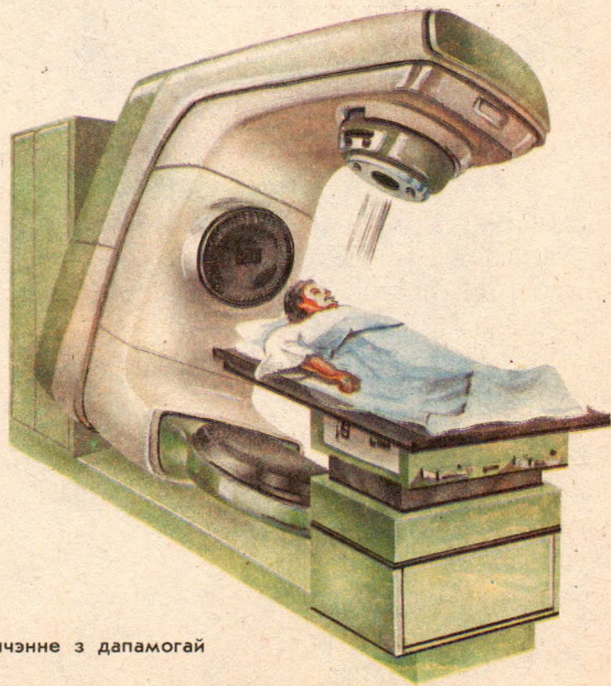
У адрозненне ад рэнтгенаўскага апарата, гама-пушку «выключыць» нельга. Яна «свеціць» увесь час, пакуль радыеактыўная крыніца поўнасю не распадзецца. Для таго каб не пацярпелі

ўрачы, крыніца знаходзіцца ў тоўстай ахоўнай абалонцы з цяжкага металу, які добра паглынае выпраменьванне. У абалонцы ёсць адтуліна, якая аўтаматычна адкрываецца, калі неабходна апраменьіць пацыента.

Вучоныя навучыліся атрымліваць выпраменьванні, энергія якіх значна большая за тую, якую маюць часціцы або гама-кванты, выпраменьваемыя радыеактыўнымі ізатопамі. Іх атрымліваюць на вялікіх і дарагіх прыладах — паскаральніках, паскараючы зараджаныя часціцы ў электрамагнітных палях.

Для чаго патрэбны паскаральнікі? Вучоныя прымяняюць іх, каб вывучаць не толькі ядры, але і будову нуклонаў. Меншыя па энергіі паскаральнікі выкарыстоўваюць для атрымання некаторых радыеактыўных ізатопаў і апраменьвання разнастайных матэрыялаў, у якіх узнікаюць новыя, карысныя ўласцівасці. Але асабліва часта паскаральнікі зноў-такі прымяняюць урачы для апраменьвання і лячэння глыбока размешчаных унутраных органаў чалавека ў тых выпадках, калі энергія рэнтгенаўскіх прамянёў або гама-квантаў з гама-пушак недастатковая.

Прымяненне разнастайных крыніц радыеактыўнага выпраменьвання не толькі карыснае, але і небяспечнае для людзей, якія



Мал. 22. Лячэнне з дапамогай гама-пушкі.

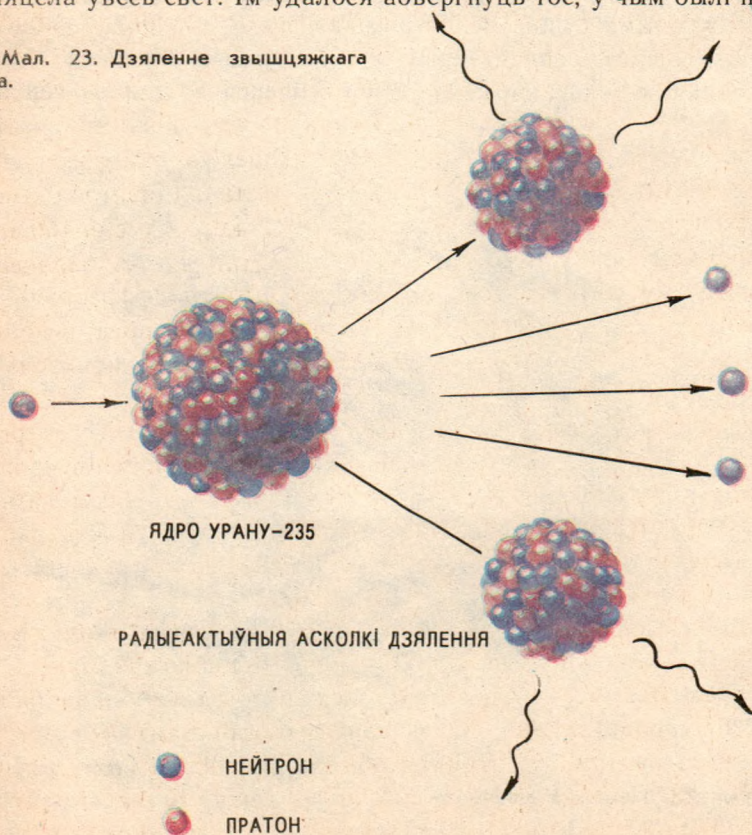
з гэтымі крыніцамі працуюць. Больш за іншых апраменьваюцца ўрачы — рэнтгенолагі і радыёлагі — і, вядома, пацыенты.

У цяперашні час радыеактыўныя ізатопы, рэнтгенаўскія апараты, гама-пушкі і паскаральнікі ў медыцыне выкарыстоўваюцца так шырока, што ў сярэднім кожны чалавек атрымлівае *дозу апраменьвання*, якую можна параўнаць з апраменьваннем натуральнага радыеактыўнага фону. У большасці выпадкаў тут нічога паправіць нельга. Бо чым раней выявілася захворванне і пачата лячэнне, тым лепш! Аднак вучоныя паляпшаюць прылады і спосабы выкарыстання радыеактыўных выпраменьванняў, стараюцца прымяняць іх толькі ў неабходных выпадках.

5. АТАМНЫЯ І ТЭРМАЯДЗЕРНЫЯ ВЫБУХІ

У 1939 г., перад другой сусветнай вайной, нямецкія хімікі Ота Ган і Фрыц Штраман зрабілі важнае адкрыццё, якое адразу абляцела ўвесь свет. Ім удалося абвергнуць тое, у чым былі пера-

Мал. 23. Дзяленне звышцяжкага ядра.



кананы абсалютна ўсе вучоныя: ядры настолькі трывалыя, што іх немагчыма разбурыць. Аказалася, што пры апраменьванні нейтронамі звышцяжкія ядры урану развальваюцца на асколкі (мал. 23). Пры гэтым вылятаюць нейтроны, здольныя раздзяліць іншыя уранавыя ядры, і вылучаецца велізарная па маштабах мікрасвету энергія.

Праўда, амаль за пяць гадоў да адкрыцця Гана і Штрасмана расшчапленне урану назіраў выдатны італьянскі фізік Энрыка Фермі.

Вучоным многіх краін свету стала зразумела, што велізарную энергію дзялення ядзер можна выкарыстаць для стварэння звышмагутнай зброі. Галоўнае, чаго яны апасаліся: каб гэта зброя не аказалася ў руках Гітлера. Яны засакрэцілі свае даследаванні па расшчапленню урану, а ў Злучаных Штатах Амерыкі ў бязлюднай пустыні былі пабудаваны буйнейшыя заводы і лабараторыі.

У 1945 г., у адзін з ліпеньскіх дзён, амерыканцы правялі выпрабаванне, а 6 і 9 жніўня 1945 г. скінулі атамныя бомбы на японскія гарады Хірасіму і Нагасакі.

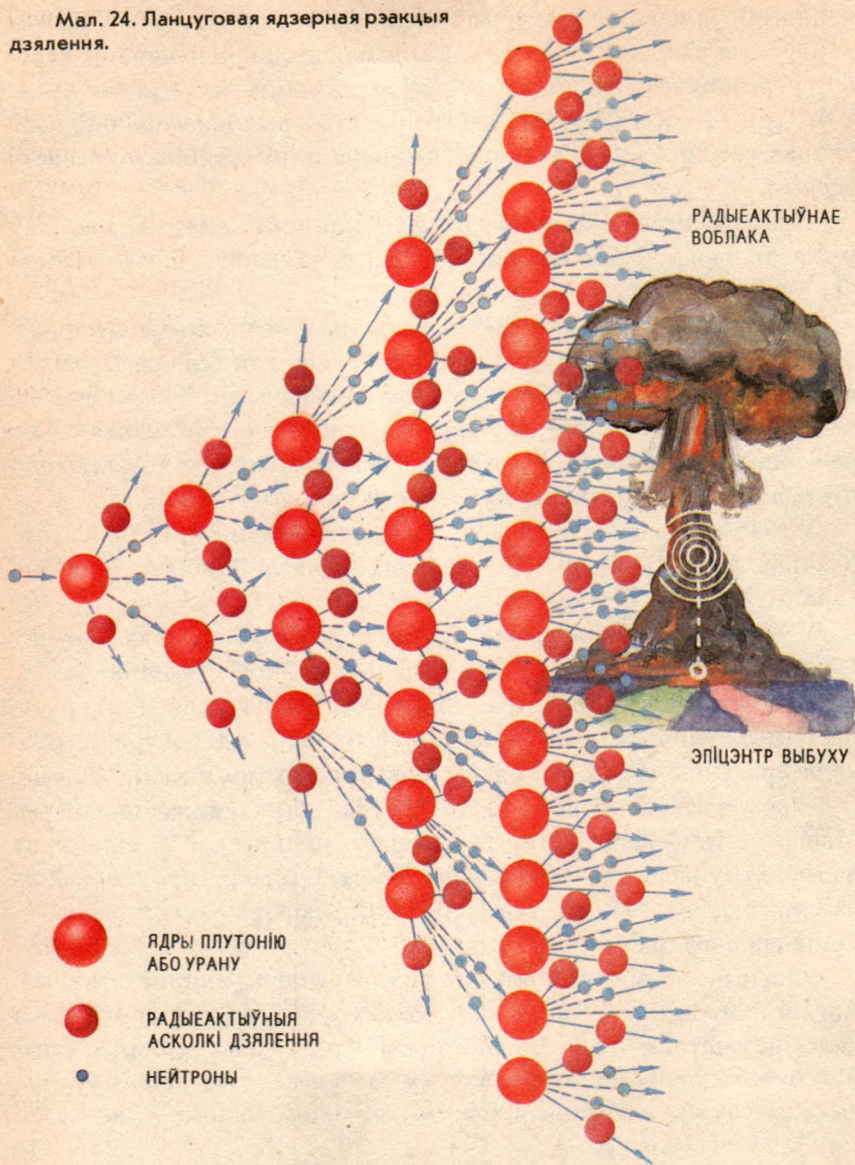
У выніку выбуху атамнай бомбы ў Хірасіме за адну секунду быў знішчаны амаль увесь горад. Невялікія японскія домікі разбурыліся, узляцелі ў паветра, зніклі. Ад велізарнай тэмпературы ўспыхнулі пажары. Гарачыня, што ішла ад цэнтра, выклікала ўраганны вецер, які разнёс полымя пажару. Амаль 100 тыс. жыхароў загінулі адразу, яшчэ 130 тыс. былі цяжка паранены. Многія з тых, што засталіся жывымі, працягвалі паміраць ад радыеактыўнага апраменьвання. Яшчэ і цяпер, праз некалькі дзесяцігоддзяў, ахвяры атамнай бамбардзіроўкі — «хібакуся» — паміраюць ад радыяцыі.

Уласныя атамныя бомбы ўслед за амерыканцамі стварылі Англія і Францыя. У Савецкім Саюзе гэта зброя распрацоўвалася пад кіраўніцтвам Ігара Васільевіча Курчатава. Накід магчымай будовы атамнай бомбы яшчэ ў самым пачатку вайны зрабіў, выкарыстаўшы адкрыццё Гана і Штрасмана, вядомы савецкі фізік Г. М. Флёраў.

Атамныя ваенныя заводы СССР у вельмі кароткі тэрмін былі пабудаваны на Паўднёвым Урале, у Чэлябінскай вобласці. 29 жніўня 1949 г. у Казахстане, недалёка ад Сяміпалацінска, адбыўся выпрабавальны выбух першай савецкай атамнай бомбы.

Якую ж будову мае атамная бомба? Паглядзім яшчэ раз на малюнак 23. Пры дзяленні ядра урану вылятае некалькі нейтронаў. Калі яны пападуць у суседнія ядры урану, то таксама могуць

Мал. 24. Ланцугова ядзерная рэакцыя дзялення.



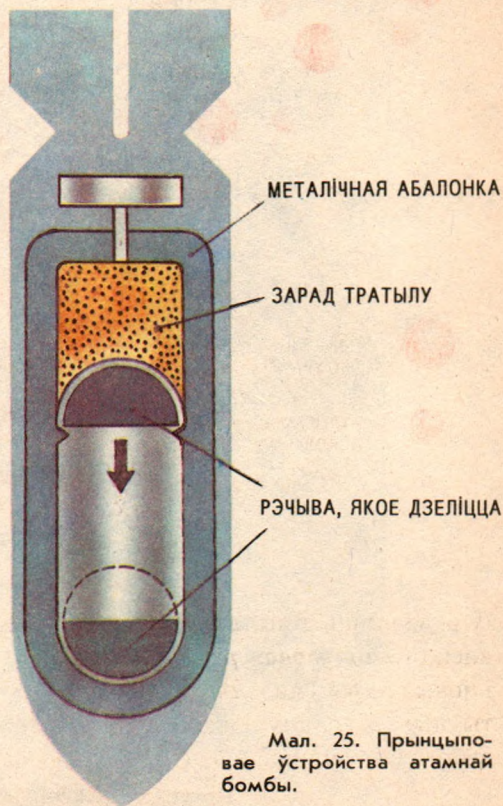
іх раздзяліць з вылетам новых нейтронаў. У кавалку урану развіваецца *ланцугова рэакцыя дзялення*, якая захоплівае ўсё новыя і новыя ядры (мал. 24). Пры гэтым узнікае велізарны лік радыеактыўных асколкаў і вылучаецца вельмі многа энергіі. Імгненнае вылучэнне вялікай энергіі ў малым аб'ёме прыводзіць да магутнага выбуху.

Аднак для таго каб рэакцыя пайшла, трэба, каб нейтроны дзялення не траціліся дарэмна. Па-першае, з уранавай руды неабходна вылучыць чысты уран, інакш нейтроны стануць паглынацца ў прымесах, і іх можа аказацца недастаткова. Яшчэ лепш дзеліцца іншы звышцяжкі ізатоп — плутоній. У прыродзе плутонію няма, але яго можна атрымаць сярод іншых радыеізатопаў у атамным рэактары. Праўда, для гэтага патрабуецца пэўны час. Да таго ж вылучэнне плутонію — складаная і небяспечная працэдура.

Па-другое, у вельмі маленькім кавалку урану або плутонію большасць нейтронаў, якія ўтварыліся, вылятае ў навакольную прастору, не паспеўшы правесці дзялення. Такім чынам, для таго каб узнікла ланцуговая рэакцыя дзялення, трэба, каб колькасць рэчыва, якое дзеліцца, была большай за некаторую *крытычную масу*. Аказалася, што крытычная маса мінімальная, калі рэчыва мае форму шара.

Будова атамнай бомбы паказана на малюнку 25. Маса плутонію або урану, чуюць большая за крытычную, дзеліцца папалам. Абедзве паўсферы аддзяляюцца адна ад адной. Для таго каб адбыўся атамны выбух, яны злучаюцца (зблізіць абодва кавалкі рэчыва, якое дзеліцца, можна звычайным выбухам). Імгненна развіваецца ланцуговая рэакцыя, бомба выбухае. Акрамя разбуральнай сілы тэмпературы і ўдарнай хвалі, у навакольнае асяроддзе трапляюць радыеактыўныя асколкі дзялення і нейтроны. Радыяцыя пры выбуху бомбы — яшчэ адзін фактар пашкоджання людзей.

Такім чынам, разбурэннем звышцяжкіх ядзер удалося стварыць атамную зброю. Але вучоным даўно было вядома, што



Мал. 25. Прынцыповае ўстройства атамнай бомбы.

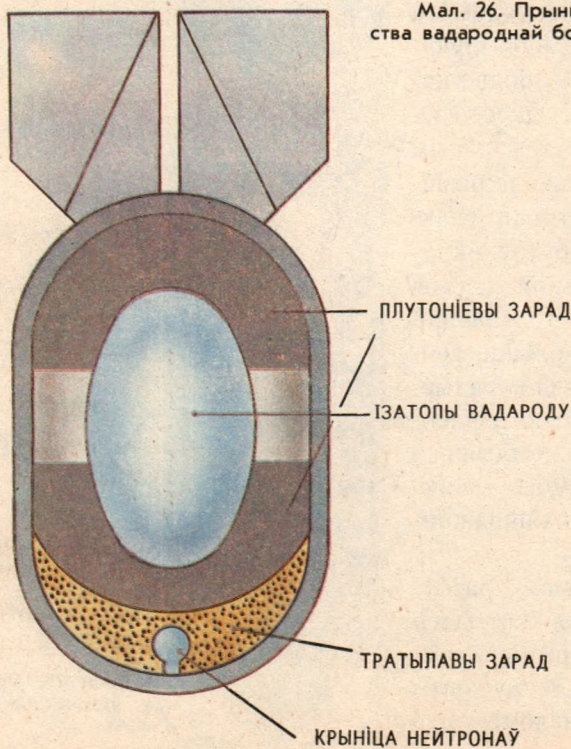
пры зліцці вельмі лёгкіх ядзер у адно больш цяжкае ўдзельнае энергавылучэнне большае, чым пры дзяленні. Калі ўдалося дзяленне, то ці нельга ажыццявіць адваротнае — ствараць новыя ядры?

Над гэтым праектам працавалі і амерыканскія, і савецкія вучоныя. У Савецкім Саюзе распрацоўкай прынцыпу звышмагутнай бомбы кіраваў акадэмік А. Дз. Са х а р а ў, працавалі цэлыя калектывы іншых выдатных фізікаў. Цяжкасць заключалася ў тым, што зліццё (сінтэз) ядзер адбываецца толькі пры тэмпературы ў мільёны градусаў. Як стварыць такую тэмпературу?

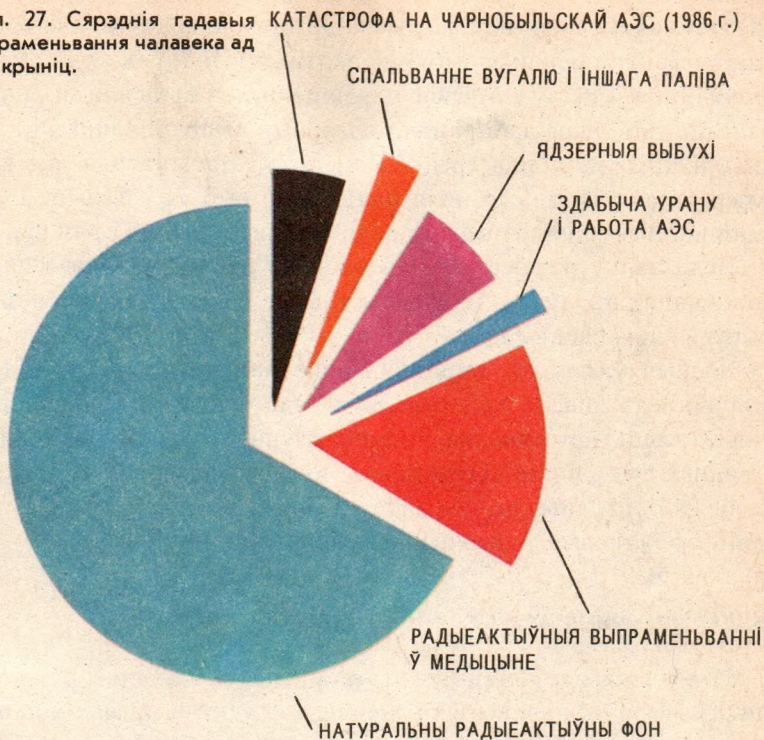
Тэрмаядзерную рэакцыю («тэрма» — цяпло) ажыццявілі, на поўніўшы атамную бомбу рэчывам, якое змяшчае ізатопы вадароду (мал. 26). Пры атамным выбуху імгненна ствараецца патрэбная звышвысокая тэмпература, пры якой магчымы сінтэз. Як толькі сальюцца ядры вадароду, адбываецца тэрмаядзерны выбух. Яго магутнасць залежыць толькі ад масы сінтэзаваных ядзер, а яна тым большая, чым больш вадароду было ў бомбе.

Тэрмаядзерная бомба так і называецца — вадародная. Яна

Мал. 26. Прынцыповае ўстройства вадароднай бомбы.



Мал. 27. Сярэднія гадавыя дозы апраменьвання чалавека ад розных крыніц.



мога быць у тысячы разоў больш магутнай, чым атамная. Першы ў свеце выпрабавальны выбух вадароднай бомбы праведзен 12 жніўня 1953 г. у Казахстане, недалёка ад Сяміпалацінска. Амерыканцы змаглі зрабіць сваю бомбу толькі праз год і ўзарвалі яе ў Ціхім акіяне, на Маршалавых астравах.

У гонцы ўзбраенняў, якая пачалася, СССР і ЗША правялі больш за 400 выпрабавальных атамных і тэрмаядзерных выбухаў у Казахстане, на Новай Зямлі і Маршалавых астравах (без падземных). Іх сумарная магутнасць такая ж, як выбух прыкладна 500 млн выбуховага рэчыва тратылу.

Пры выбуху ядзернай бомбы ў навакольнае асяроддзе трапляе велізарная колькасць радыеактыўных асколкаў дзялення і нейтронаў. Толькі трытыю і радыевугляроду пры выбухах выкінута ў сотні разоў больш, чым іх было ў прыродзе ад касмічных прамянёў. Радыеактыўнасцю забруджваецца не толькі мясцовасць вакол эпіцэнтра выбуху. Асколкі закідваюцца на вышыню 30—40 км, і, перад тым як выпасці на зямлю, радыеактыўнае воблака некалькі разоў можа абляцець вакол зямнога шара.

Радыеактыўныя рэчывы асядаюць вельмі павольна, часам не-

калькі гадоў. На зямлю яны выпадаюць з дажджом і снегам. У выніку выпрабавальных выбухаў аказалася забруджанай амаль уся планета. У 1963 г. у Маскве нарэшце было падпісана міжнароднае пагадненне, якое забараняла ядзерныя выпрабаванні на паверхні зямлі, у вадзе і ў паветры. У 1981 г. да гэтага пагаднення далучыліся Кітай і Францыя, якія працягвалі выбухі ў Тыбеце і ў Ціхім акіяне. З таго часу выбухі праводзяцца толькі пад зямлёй, а ў гэтым выпадку радыеактыўная забруджанасць значна меншая.

Хаця ў параўнанні з фонам 1963 г. радыяцыйны фон знізіўся, ён усё яшчэ перавышае натуральны фон. На малюнку 27 паказаны адносныя ўклады ў апраменьванне чалавека розных відаў вытворчай дзейнасці на канец 80-х гадоў. У выніку развіцця прамысловасці, прымянення радыеактыўных рэчываў доля антрапагеннага фону расце. Цяпер, калі пагроза ядзернай вайны малая, а выпрабавальныя выбухі забаронены, асноўную небяспеку ўяўляюць выпадковыя радыяцыйныя аварыі.

6. РАДЫЯЦЫЙНЫЯ АВАРЫІ

Радыяцыйная аварыя — гэта распаўсюджванне радыеактыўных рэчываў у навакольнае асяроддзе, адкуль магчыма апраменьванне людзей. Па ступені небяспекі ім прысвойваюць ацэнкі па сямібальнай шкале. 1 бал — гэта самая нязначная аварыя (напрыклад, у навуковай лабараторыі выпадкова разбілася бутэлка з малой колькасцю радыеактыўнага рэчыва); 7 балаў — гэта радыяцыйная катастрофа, ад якой пакутуюць сотні тысяч людзей і забруджваюцца радыеактыўнасцю тысячы квадратных кіламетраў тэрыторыі.

Больш за ўсё аварыі здараецца пры перавозцы радыеактыўных рэчываў, калі губляюцца або разбураюцца ўпакоўкі і нават прылады, у якіх знаходзяцца радыеізатопы. Небяспечна, калі тоне атамная падводная лодка. Такіх выпадкаў было некалькі ў амерыканскім і савецкім ваенным флоце. Марская вада ў рэшце рэшт раз'ядае метал, радыеактыўнасць трапляе ў ваду і разносіцца цячэннямі па ўсім Сусветным акіяне.

Аднак самыя сур'ёзныя вынікі выклікаюць аварыі на ваенных атамных заводах і атамных электрастанцыях.

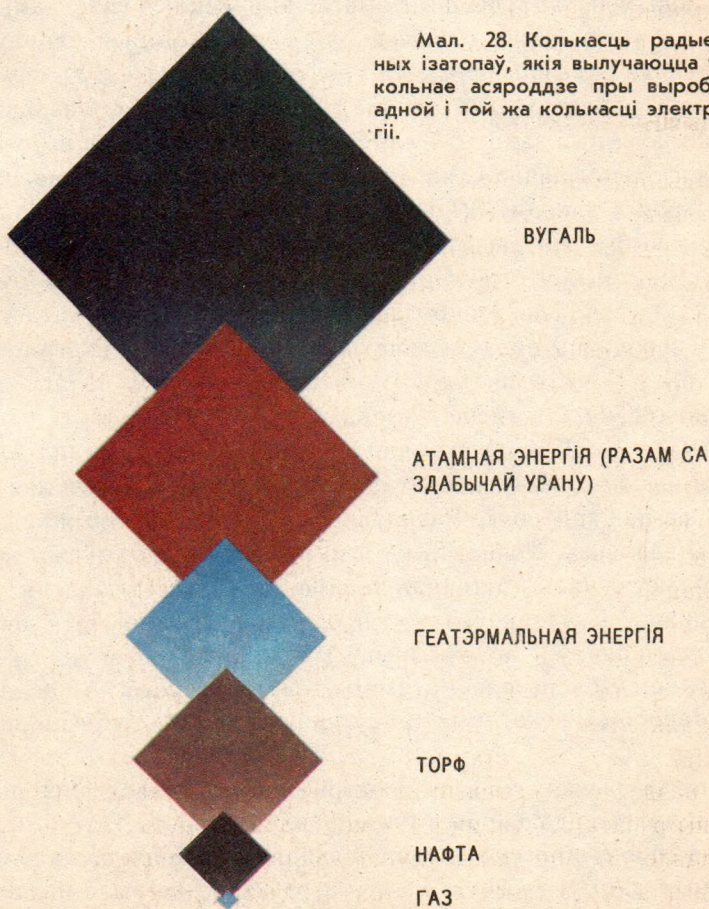
У раздзеле «Карысныя атамы» мы ўжо расказвалі, як працуе атамны рэактар. У ім, як і ў бомбе, развіваецца ланцуговая рэакцыя дзялення. Але да выбуху справа не даходзіць, таму што ў гэтым выпадку рэакцыя *кіруемая*. Лішнія нейтроны паглынаюцца

спецыяльнымі рэчывамі, і хуткасць рэакцыі падтрымліваецца на патрэбным узроўні.

Першы атамны рэактар пабудаван у Чыкага Энрыка Фермі. А першая атамная электрастанцыя, на якой энергія дзялення урану ператваралася ў электрычнасць, запрацавала ў 1954 г. у Савецкім Саюзе, у невялікім горадзе Обнінску (цяпер гэта буйны горад вучоных).

З той пары атамныя электрастанцыі пабудаваны ў многіх краінах свету, а ў Францыі, Бельгіі, Рэспубліцы Карэя, Швецыі палова або нават больш за палову ўсёй электраэнергіі выпрацоўваецца на АЭС.

У атамных электрастанцый многа пераваг: яны не дымяць, як вугальныя, ды і радыеактыўнасці ў паветра ад іх выкідваецца менш (мал. 28). Вугаль і нафта з кожным годам даражэюць, і калі



б не аварыі, якія здараюцца ўсё часцей, АЭС будавалася б усё больш.

Чым даўжэй працуе рэактар, тым больш у ім назапашваецца радыеактыўных асколкаў дзялення. Гэта радыеактыўнасць звычайна надзейна схавана за тоўстымі сценамі. Але калі рэактар разбураецца, яго змесціва трапляе ў паветра і разносіцца ветрам на вялікія адлегласці.

Вельмі буйная аварыя (5 балаў) адбылася ў кастрычніку 1957 г. у Уіндскейлі (Вялікабрытанія), на ваенным заводзе, дзе вырабляўся бомбавы плутоній. Было забруджана радыеактыўнасцю каля 500 км, адкуль прыйшлося вывезці людзей і жывёл. Праўда, з усіх асколкаў дзялення ў навакольнае асяроддзе больш за ўсё трапіла радыеактыўнага еду. У гэтага ізатопа перыяд паўраспаду — каля 8 дзён. Ён хутка распаўся, і ўжо праз паўтара месяца ўсе пацярпеўшыя змаглі вярнуцца ў свае дамы.

Аднак яшчэ раней у Савецкім Саюзе адбылася сапраўдная сямібальная радыяцыйная катастрофа на Паўднёвым Урале, у Чэлябінскай вобласці. Там, каля горада Кыштыма, знаходзіліся савецкія атамныя заводы. Каля рэактараў і завода па вылучэнню плутонію ў могілніках назапасілася велізарная колькасць радыеактыўных адходаў. 27 верасня 1957 г. у адным з могілнікаў адбыўся выбух. Радыеактыўнае воблака распаўзлося больш чым на 100 км. У выніку былі забруджаны Чэлябінская, Свядлоўская, Цюменская вобласці. Найбольшую небяспеку ў гэтай катастрофе ўяўляў асколачны прадукт дзялення стронцый-90, у якога перыяд паўраспаду — каля 30 гадоў. Яшчэ і цяпер палова гэтага стронцыю знаходзіцца ў глебе і азёрах.

У 1979 г. у ЗША на атамнай электрастанцыі Трымайл-Айленд з-за памылкі ў рабоце аператараў ланцуговая рэакцыя дзялення выйшла з-пад кантролю. Расплавіліся уран і асколачныя радыеактыўныя элементы. Толькі таму, што рэактар знаходзіўся ў вельмі тоўстай металічнай і бетоннай абалонцы, радыеактыўнасць амаль не пранікла ў навакольнае асяроддзе. І ўсё-такі гэта аварыя атрымала 5 балаў. Пасля аварыі ў Трымайл-Айлендзе многія сталі сумнявацца ў бяспечнасці атамных электрастанцый. А пасля аварыі ў Чарнобылі некаторыя краіны наогул спынілі будаваць новыя АЭС.

Чарнобыльская атамная электрастанцыя знаходзіцца на Украіне, недалёка ад граніцы з Рэспублікай Беларусь. Ноччу 26 кастрычніка 1986 г. з прычыны няправільнага кіравання на адным з яе рэактараў адбыўся выбух. У гэтага рэактара не было надзейных

сценак, як у Трымайл-Айлендзе, і полымя разам з радыеактыўнымі асколкамі дзялення, якіх набралася вялікая колькасць, вырвалася з яго.

Больш за дзесяць дзён радыеактыўнасць разносілася ветрам па ўсім зямным шары. Нават у Японіі і Амерыцы аказаліся чарнобыльскія радыеізатопы. Многія з іх выпалі ў Заходняй Еўропе, але, безумоўна, больш за ўсё — паблізу ад АЭС, у Беларусі, на Украіне і ў некалькіх абласцях Расіі.

Пры гэтай аварыі навакольнае асяроддзе забрудзілі дзесяткі розных радыеізатопаў. Цяжкі уран і ізатопы плутонію далёка не разляцеліся. Затое радыеактыўны ёд разнёсся па ўсёй Зямлі. Мы ўжо гаварылі, што ў гэтага ізатопа перыяд паўраспаду — усяго 8 дзён, таму вельмі небяспечным ён быў у першыя месяц-два, пакуль поўнасцю не распаўся. Распаліся і іншыя кароткажывучыя ізатопы. Цяпер найбольшую небяспеку ўяўляюць радыеактыўныя цэзій і стронцій. Перыяд паўраспаду ў абодвух — прыкладна 30 гадоў. Гэта значыць, што праз 30 гадоў выпраменьванне ў плямах радыеактыўнасці, якія займаюць тысячы квадратных кіламетраў, паменшыцца толькі ў 2 разы; праз 60 гадоў — у 4 разы. Такім чынам, пацярпеўшыя раёны застануцца забруджанымі сотні гадоў, калі вучоныя не прыдумаюць, як ачысціць гэту зямлю.

Як паказалі гады, якія прайшлі пасля Чарнобыльскай аварыі, такія простыя разлікі спаду радыеактыўнасці, што выпала, у рэальным жыцці непрямая. Зразумела, законы радыеактыўнага распаду выконваюцца, і спад радыенуклідаў цэзію і стронцію адбываецца ў дакладнай адпаведнасці з перыядамі іх паўраспаду. Але зададзімся пытаннем: што такое паверхневае забруджанне глебы?

У матэматыцы паверхня — бясконца тонкая плёнка. Але радыенукліды, якія выпалі, вымываліся дажджамі, апынуліся на глыбіні пасля пераворвання, часткова растварыліся ў вадзе і заглыбіліся на 5—7, а ў пясчаных глебах — на 30—40 і больш сантыметраў. Такім чынам, калі гавораць аб паверхневым забруджанні, разумеюць не саму паверхню зямлі, а слой глебы, дзе сканцэнтраваны запас радыеактыўнасці, якая выпала. З практычнага пункту погляду важная таўшчыня зямлі, з якой мікраэлементы (у тым ліку радыенукліды) паступаюць у расліны. Паколькі каранёвая сістэма большасці культурных і дзікіх раслін высмоктвае рэчывы з глыбіні 20—25 см, гэта якраз той слой глебы, які прынята лічыць паверхневым. Калі, напрыклад, на карце паказана радыеактыўная пляма з паверхневай канцэнтрацыяй радыеактыўнасці

600 кБк · м⁻², то гэта значыць, што дадзеная колькасць радыеактыўнасці сканцэнтравана ў масе глебы на пляцоўцы 1 м² пры таўшчыні 0,2 м, г. зн. у 0,2 м³ глебы.

Ужо гаварылася, што радыеактыўныя ядры знішчыць немагчыма: яны ўстойлівыя нават пры тэмпературах у мільёны градусаў! Ачысціць зямлю ад радыенуклідаў — значыць перамясціць іх у іншае месца. Гэта з поспехам робяць расліны, усмоктваючы радыеактыўныя рэчывы праз каранёвую сістэму. Асабліва добра гэта атрымліваецца ў так званых раслін-канцэнтратараў — злакавых, бабовых і інш. Застаецца выбраць: выкарыстоўваць забруджаныя расліны пры ачышчэнні глебы або прымірыцца з павольным ачышчэннем глебы, знімаючы «чысты» ўраджай.

Існуе многа праектаў ачысткі забруджаных у выніку Чарнобыльскай аварыі тэрыторый з дапамогай высаджвання раслін-канцэнтратараў. Затым прапануецца спальваць забруджаныя расліны. Печы трэба абсталяваць спецыяльнымі фільтрамі, якія ўлоўліваюць радыеактыўныя газы і дымавыя часціцы. Неабходна збіраць попел, у якім акажуцца радыенукліды, і захоўваць яго ў месцах, недаступных дзеянню ветру, дажджоў і да т. п., — спецыяльных могільніках. Калі ўлічыць, што ў Беларусі такім спосабам трэба ачысціць тысячы квадратных кіламетраў, то гэты спосаб аказваецца не толькі няўдалым, вельмі дарагім, але і небяспечным.

Яшчэ больш фантастычным уяўляецца спосаб ачысткі зямлі ад радыеактыўнасці, якая выпала, (дэзактывацыі) шляхам складанай тэхналогіі перапрацоўкі ўсяго ўраджлівага слоя для аддзялення радыенуклідаў, змяшчэння іх у спецыяльныя кантэйнеры і далейшага захавання. Падобныя спосабы распрацаваны, напрыклад, для перапрацоўкі уранавых руд з мэтай канцэнтрацыі ядзернага гаручага — урану. Калі б мы вырашылі дэзактываваць такім спосабам Гомельскую і Магілёўскую вобласці, прыйшлося б пабудаваць гіганцкія заводы, выкарыстаць эшалоны кіслаты і іншых не меней шкодных рэчываў. Яшчэ невядома, што горш — радыеактыўная зямля або бясплодная кіслотная пустыня!

Адразу пасля аварыі ў Чарнобылі былі праведзены шырока-маштабныя дэзактывацыйныя работы: радыеактыўнасць змывалі з дахаў дамоў, а ў некаторых выпадках дамы нават разбіралі і захоўвалі, зразалі самыя брудныя слаі глебы, будавалі асфальтаваныя дарогі, з якіх лягчэй змыць радыеактыўныя рэчывы. Не заўсёды гэтыя меры прыносілі жаданы вынік: радыенукліды, якія апынуліся на глыбіні, пасля глыбокага пераворвання зноў высмоктваліся на паверхню каранямі раслін. Цяпер на тэрыторыі рэспублікі вель-

мі многа могільнікаў, у якіх захаваны найбольш радыеактыўныя дэталі дамоў, інвентару, аўтамабіляў. Пад дзеяннем ветру, дажджоў, паверхневых і падземных вод радыеактыўнасць з могільнікаў паступова распаўсюджваецца на суседнія тэрыторыі. Патрэбна вельмі многа сродкаў, каб абсталяваць могільнікі, зрабіўшы іх недаступнымі дзеянню прыродных фактараў.

Адным словам, любы вядомы цяпер спосаб ачысткі забруджаных тэрыторый вельмі дарагі і неэфектыўны. Застаецца спадзявацца на натуральны распад і магутныя прыродныя працэсы самаачышчэння. Ужо цяпер пражыванне на пацярпеўшых землях значна больш бяспечнае, чым у першыя месяцы пасля Чарнобыльскай аварыі.

7. РАДЫЕАКТЫЎНЫЯ РЭЧЫВЫ У ПРЫРОДЗЕ

Апынуўшыся ў паветры, радыеізатопы звычайна далучаюцца да часцінак пылу, дыму, кропелек вільгаці. Самыя дробныя і лёгкія часціцы паднімаюцца на дзесяткі кіламетраў. Чым вышэй яны знаходзяцца, тым павольней адбываецца асаджэнне. Часам патрэбны месяцы і нават гады, каб радыеактыўнасць асела на зямлю.

Вельмі моцна дапамагаюць асаджэнню дождж і снег. Разам з кроплямі вады радыеактыўныя часціцы трапляюць у глебу. Пасля аварыі на Чарнобыльскай атамнай электрастанцыі плямы радыеактыўнасці ўтварыліся якраз там, дзе выпалі дажджы.

Радыеактыўныя рэчывы, якія выпалі, забруджваюць расліны. Асабліва моцна забруджваецца лес. Патрэбна яшчэ многа дажджоў, каб гэтыя рэчывы змыліся з лістоў і галін, з дахаў дамоў.

Што ж адбываецца з радыеактыўнасцю далей (мал. 29)? Ручаі пераносяць яе ў рэкі і азёры, дзе яна асядае на дно. У глеі радыеактыўнасць захоўваецца да поўнага распаду, яе паглынаюць з пажыўнымі рэчывамі водарасці, рыбы, ракі і іншыя насельнікі вадаёмаў.

У сухое надвор'е над радыеактыўнай зямлёй паднімаецца пыл. Асабліва небяспечныя ў такіх месцах пажары, таму што дым разносіцца ветрам на вялікую адлегласць і забруджвае новыя ўчасткі. У забруджаным лесе ні ў якім разе нельга разводзіць кастры.

З глебы радыеактыўныя ізатопы разам з пажыўнымі рэчывамі паглынаюцца раслінамі. Праўда, самі яны пры гэтым забруджваюцца па-рознаму. Больш за ўсё радыеактыўнасці паглынаюць



Мал. 29. Кругаварот радыеактыўных рэчываў у прыродзе.

грыбы, мох, лясныя ягады, лекавыя расліны, шчаўе. Яны называюцца раслінамі-**канцэнтратарамі**, таму што канцэнтруюць (збіраюць) у сябе радыеактыўныя рэчывы. Затое клубніцы, фрукты ў большасці выпадкаў застаюцца «чыстымі».

У раслінах радыеактыўнасць размяркоўваецца нераўнамерна. Галоўным чынам яна назапашваецца ў пладах, сямачках, костачках, лупіне. На забруджанай зямлі фрукты і агародніну трэба абавязкова мыць, чысціць, а вось костачкі і сямачкі наогул не трэба есці.

Праз расліны радыеактыўныя рэчывы паступаюць да жывёл. Паядаючы забруджаную траву, назапашваюць радыеактыўнасць жывёлы і птушкі. Паўночныя алені, якія ў тундры кормяцца лішайнікамі і імхамі, даюць вельмі забруджанае мяса.

У арганізме жывёлы радыеізатопы не толькі назапашваюцца.

Частка з іх паступова выводзіцца з мачой, калам, а таксама з малаком.

Такім чынам, кругаварот радыеактыўных рэчываў, якія трапілі ў навакольнае асяроддзе пасля выбуху або аварыі, захоплівае паветра, глебу і расліны, што растуць на ёй. Радыенукліды разносяцца ветрам і вадой, трапляюць у арганізмы жывёл.

Пытанні і заданні

1. Якім чынам радыеактыўныя рэчывы, распыленыя ў паветры, трапляюць на зямлю?
2. Што такое канцэнтратары радыеактыўнасці?
3. Растлумачце, па якім ланцужку радыеізатопы трапляюць у арганізм жывёл.

8. РАДЫЕАКТИВНАСЦЬ НАВАКОЛЬНАГА АСЯРОДДЗЯ І ЧАЛАВЕК

Калі чалавек апынуўся на забруджанай мясцовасці, на яго дзейнічае радыяцыя знешне, ад ізатопаў, якія выпалі на зямлю. Але радыеактыўнасць трапляе і ў арганізм. Не вельмі цяжка здагадацца, як гэта адбываецца. Мы ж ужо ведаем аб кругавароце радыеактыўных рэчываў у прыродзе!

Апраменьенне можна і проста з паветра. Праўда, гэта небяспечна толькі пры праходжанні радыеактыўнага воблака, што здараецца адразу пасля аварыі або выбуху. У астатні час галоўную небяспеку ўяўляюць радыеізатопы, якія трапляюць у лёгкія пры дыханні. У сухое надвор'е на забруджанай мясцовасці ў паветры многа радыеактыўнага пылу. Яшчэ больш яго на раллі, дзе працуюць трактары або іншая тэхніка, а таксама ў забруджаным лесе, таму што ў ім заўсёды ёсць споры, якімі размнажаюцца лясныя расліны, і разнастайныя пылінкі, якія захопліваюць радыеактыўнасць. І ўсё гэта ўдыхае чалавек.

Радыеактыўныя рэчывы могуць трапляць у арганізм з вадой, расліннай і жывёльнай ежай. Вада забруджваецца адразу пасля аварыі або пасля вялікіх ападкаў, якія зываюць ізатопы з глебы. Але забруджанні даволі хутка асядаюць на дно, так што ў большасці выпадкаў вада — «чыстая».

Самай небяспечнай з'яўляецца радыеактыўнасць у ежы. Такое апраменьванне «знутры» не меншае, а часам і большае, чым знешняе апраменьванне забруджанай глебы. Да таго ж знешняе апраменьванне спыняецца, калі вы выязджаеце ў вёску або горад, дзе няма радыеактыўных плям. А вось забруджаныя прадукты могуць

акацаца ў любым магазіне або на рынку за сотні кіламетраў ад таго месца, дзе ў іх папала радыеактыўнасць.

У чалавечы арганізм радыеізатопы трапляюць, ажыццяўляючы шлях з глебы да раслін, а з іх — у жывёлу. Такі паслядоўны шлях называецца *харчовым ланцугом*. Назавём самыя галоўныя харчовыя ланцугі:

расліна (агародніна, садавіна і г. д.) — чалавек;

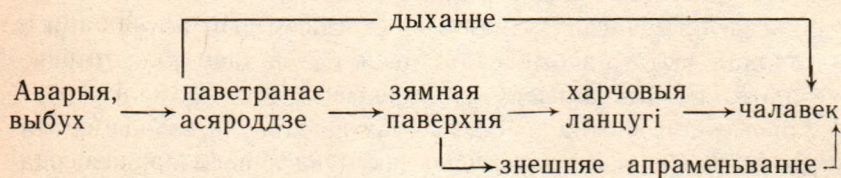
расліна — жывёла — малако — чалавек;

расліна — жывёла — мяса — чалавек;

водарасці — рыба — чалавек.

Безумоўна, харчовыя ланцугі бываюць больш складанымі, бо людзі харчуюцца і мясам драпежных жывёл і рыб, якія самі паядаюць іншых драпежнікаў і траваедных. Ды і кожны ланцужок можна запісаць падрабязней. Але вы, мабыць, і так ужо зразумелі, як у рэшце рэшт забруджваецца ежа.

Такім чынам, дзеянне радыеактыўнасці на чалавека ў агульным плане паказваецца схемай:



Цяпер, калі мы ведаем, як паводзяць сябе радыеактыўныя рэчывы ў прыродзе і як яны трапляюць у чалавечы арганізм, не цяжка здагадацца, як паменшыць небяспеку ў выпадку радыяцыйнай аварыі.

На забруджанай мясцовасці (пасля Чарнобыльскай катастрофы ў Беларусі, на жаль, такіх месцаў нямала, і было б добра, калі б вы разгледзелі карту радыеактыўнай забруджанасці) трэба асцерагацца пылу. Пастарайцеся не наладжваць гульняў, дзе паднімаецца пыл, асабліва ў сухое надвор'е. Нельга хадзіць у лес, збіраць там ягады і грыбы і, тым больш, распальваць касцёр. Дома таксама трэба арганізаваць барацьбу з пылам: дапамагаць бацькам часцей прыбіраць у кватэры, мыць падлогу і выціраць пыл, а дыван чысціць толькі пыласосам. Абутак пакідайце ў калідоры, чысціце і мыйце адзенне. І самі таксама часцей мыйцеся з мылам.

Чыста і ахайнасць заўсёды карысныя і, вядома, не толькі ў раёнах, забруджаных радыеактыўнасцю. Але там для памян-

шэння апраменьвання, з-за таго што мы ўдыхаем пыл, гэтыя меры зусім неабходныя.

Падумаем, што можна зрабіць, каб радыеактыўныя рэчывы не траплялі ў арганізм з ежай. Цяпер прадукты ў магазінах звычайна правяраюцца на ўтрыманне радыеізатопаў і амаль заўсёды — «чыстыя». На рынку таксама можна праверыць прадуктовыя пакупкі з дапамогай спецыяльнай прылады — радыёметра.

І ўсё ж агародніну і садавіну трэба добра мыць і чысціць. Можна яшчэ параіць варыць агародніну. Пры гэтым у ваду выходзіць прыкладна палова радыеактыўных рэчываў. І ніколі не піце сырую ваду. У ёй амаль без сумнення няма ніякай радыеактыўнасці, затое многа ўсякіх іншых шкодных рэчываў. Лепш піць сокі, у якіх змяшчаюцца карысныя для здароўя вітаміны, яны дапамагаюць арганізму супрацьстаяць апраменьванню і выводзіць з яго радыеізатопы.

Часам не шкодна пафіласофстваваць. Тут для гэтага самы час. Вы, несумненна, любіце марожанае. Але што адбудзецца, калі вы з'ясеце адразу 20 порцый? Як казалі б вашы разважлівыя бацькі, усё добра ў меру! Арганізму патрэбны бялкі, тлушчы, вітаміны, вугляводы і многае іншае. Такія карысныя вітаміны, калі харчавацца толькі імі, нашкодзяць здароўю не менш, чым празмерная колькасць цукерак. Нездарма пры прастудзе ўрачы прапісваюць лякарствы і на рэцэпце ўказваюць, колькі і калі іх прымаць. Лякарства ў вялікай колькасці ператвараецца ў яд!

Даведаўшыся, што многія расліны, асабліва расліны-канцэнтратары, назапашваюць радыеактыўныя рэчывы, некаторыя людзі наогул адмаўляюцца ўжываць іх у ежу. Пэралік такіх харчовых прадуктаў вельмі вялікі. Што ж рабіць: захварэць ад недахопу патрэбных арганізму рэчываў або нават памерці ад голаду, толькі б не забрудзіцца радыеактыўнасцю? Пасля аварыі у Чарнобылі грузінскі і нават турэцкі чай (чайныя кусты вельмі моцныя канцэнтратары мікраэлементаў) аказаўся высокарадыеактыўным. Добра, вядома, калі ўдалося купіць цэйлонскі або кітайскі чай. Але калі не ўдалося, таксама нічога страшнага няма: гэты напітак вельмі карысны і садзейнічае вывядзенню цэзію з арганізма. У дадзеным выпадку ён не толькі яд, але і проціяддзе! Вы ж не п'яце яго кожны дзень кілаграмамі!

З вышэйпрыведзенага разважання давайце зробім вывады.

1. Цвярозы розум не шкодна выкарыстоўваць заўсёды, у тым ліку складаючы штодзённае меню пры пражыванні на забруджанай тэрыторыі.

2. Самы лепшы спосаб аховы ад радыеактыўнасці — здаровы спосаб жыцця. Зразумела, у пацярпеўшых раёнах даводзіцца ісці на некаторыя абмежаванні, аб якіх мы ўжо гаварылі. Правільна збалансаванае харчаванне — аснова здароўя. Добра, калі ёсць магчымасць карыстацца прывазнымі прадуктамі, але і мясцовыя (калі не ўжываць грыбы і некаторыя дзікарослыя расліны, малако каровы, якая пасвілася на забруджаным лузе) цалкам прыгодныя для ежы. Галоўнае — ведаць, як іх лепш згатаваць, каб у арганізм трапіла найменш радыеактыўных рэчываў. Сокі і фрукты асабліва карысныя аслабеламу арганізму, нават калі гэтыя фрукты сабраны ў садзе забруджанай зоны.

РАДЫЕАКТЫЎНАСЦЬ

1. АТАМЫ І ЯДРЫ

Ужо старажытнагрэчаскія філосафы задумваліся аб будове свету. З якіх элементарных цаглінак створаны дрэвы і жывёлы, вада і паветра, травы і глеба, на якой яны растуць? Дождж і вецер з часам разбураюць нават камень, ператвараючы яго ў пясок. Але разбураюцца і пячынкі: перамолваючы іх у млыне, можна атрымаць парашок! Дык, можа, дробнячы пячынку, у рэшце рэшт удасца атрымаць тыя самыя цагліны, з якіх ствараецца прырода?

Амаль дзве з паловай тысячы гадоў назад, разважаючы такім чынам, Дэмакрыт з Фракіі прыйшоў да думкі, што павінны існаваць самыя маленькія часцінкі, якія ўжо далей раздрабніць немагчыма. Ён так і назваў іх — *атамы*, што значыць недзялімыя.

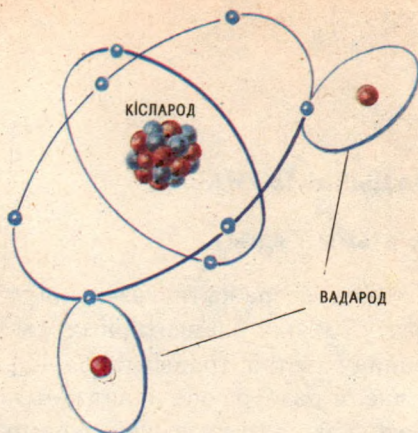
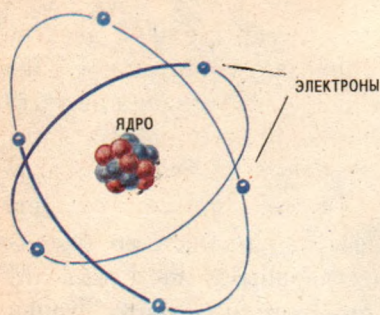
Прайшло вельмі многа часу, але толькі параўнальна нядаўна было, нарэшце, даказана, што ўся разнастайнасць прыроды сапраўды канструюецца з камбінацый атамаў. Атамы аказаліся настолькі малымі, што ўбачыць іх нават з дапамогай самага моцнага мікраскопа немагчыма. Іх памер — усяго каля 0,0000000001, або 10^{-10} м!

Аднак і атам — гэта складаная сістэма. У яго цэнтры знаходзіцца цяжкае *ядро*, вакол якога верцяцца *электроны*, як паказана на малюнку 30. Электроны намнога лягчэйшыя за ядры і рухаюцца па арбітах, падобна да таго як планеты рухаюцца вакол Сонца. На малюнку, праўда, прыйшлося не ўлічваць маштаб. Бо калі б ядро паказаць як плямку ў 1 мм, то ўвесь атам заняў бы прастору дыяметрам 10 м!

Старажытныя філосафы лічылі, што ўся прырода створана ўсяго з чатырох сартоў атамаў — зямлі, агню, вады і паветра. У гэтым яны памыліліся. На самай справе іх каля ста. Да таго ж зямля, вада, агонь і паветра аказаліся складанымі рэчывамі, і складаюцца яны з атамаў. Напрыклад, вада складаецца з малекул, у кожнай з якіх змяшчаецца адзін атам кіслароду і два атамы вадароду (мал. 31).

Існуюць і вельмі вялікія малекулярныя камбінацыі атамаў. Так, бялковыя малекулы, якія ўваходзяць у састаў раслінных

Мал. 30. Атам вугляроду.



Мал. 31. Малекула вады.

і жывёльных арганізмаў, часам змяшчаюць некалькі мільёнаў атамаў.

Такім чынам, мільярды самых разнастайных рэчываў можна «сканструяваць» усяго з сотні атамаў хімічных элементаў, якія ёсць у насяўнасці. Запомнім: пэўная камбінацыя атамаў — *малекула* — гэта элементарная «цаглінка» *рэчыва, атам* — элементарная «цаглінка» *хімічнага элемента* (вадароду, кіслароду, жалеза і гэтак далей).

Як злучаюцца атомы, утвараючы малекулы, і як малекулы розных рэчываў узаемадзейнічаюць адна з адной, вы даведаецеся з хіміі. А мы працягнем вывучэнне будовы атамаў.

Мы ўжо ведаем, што ў атаме ёсць ядро і электроны, якія верцяцца вакол яго. Але чым адрозніваюцца атомы адзін ад аднаго? Для таго каб адказаць на гэта пытанне, разгледзім падрабязней будову ядра.

Аказваецца, ядро таксама можна «разабраць на часткі» — *нуклоны*. Кожны нуклон амаль у дзве тысячы разоў цяжэйшы за электрон, так што не дзіўна, што ядро такое цяжкае і ў ім сканцэнтравана амаль уся атамная маса.

Нуклоны бываюць двух відаў. Гэта — *пратоны і нейтроны*. Пратоны зараджаны дадатна, і ў ядры іх столькі ж, колькі адмоўна зараджаных электронаў на арбітах. Вось і атрымліваецца пры складанні «плюсоў» і «мінусаў», што ў цэлым атам электрычна нейтральны.

Колькасць пратонаў у ядры мяняецца ад аднаго (вадарод) да ста з лішкам. Менавіта лікам пратонаў у ядрах і адрозніваюцца атомы адзін ад аднаго. Абазначым гэты лік літарай *Z*. Відавочна,

што Z — заўсёды цэлы лік (1, 2, 3 і г. д.) і абазначае сумарны дадатны ядзерны зарад.

Галоўную ролю ў атаме іграе ядро (калі маеца ядро, электроны для яго ў неабходнай колькасці заўсёды знойдуцца!). Такім чынам, уласцівасці хімічнага элемента зручна звязваць не з атамам, а з будовай яго ядра. Усе вядомыя атамы (розныя ядры) згрупаваны ў перыядычнай табліцы хімічных элементаў Мендзялеева, прычым кожны займае ў ёй сваю пэўную клетку ў адпаведнасці з лікам ядзерных пратонаў Z .

Напрыклад, у ядры атама вугляроду змяшчаецца 6 пратонаў ($Z = 6$), і ў табліцы Мендзялеева ён займае 6-ю клетку. Калі ж пратонаў 55, то гэта — ядро атама хімічнага элемента цэзію, на арбітах якога верціцца 55 электронаў.

Такім чынам, запомнім: Z — гэта лік пратонаў у ядры атама хімічнага элемента, нумар клеткі ў перыядычнай табліцы і адначасова дадатны зарад дадзенага ядра. У электрычна нейтральным атаме Z — таксама лік электронаў на яго арбітах.

А цяпер успомнім, што, акрамя пратонаў, у ядры ёсць і іншыя нуклоны — электрычна нейтральныя нейтроны. Нейтроны хімічных уласцівасцей атама не мяняюць, г. зн. не ўплываюць на яго размяшчэнне ў перыядычнай сістэме элементаў. Але кожны з іх «важыць» амаль столькі ж, як і протон, і нават чуць-чуць больш. Значыць, ад ліку нейтронаў залежыць агульная маса ядра, дакладней масавы лік ядра A :

$$A = Z + N,$$

дзе N — колькасць нейтронаў.

Напрыклад, у ядры атама вугляроду, у якім лік пратонаў і нейтронаў аднолькавы ($Z = 6$, $N = 6$), $A = 6 + 6 = 12$.

Значэнні A і Z — важнейшыя характарыстыкі ядзер. Яны ўказваюцца пры абазначэнні адпаведнага атама хімічнага элемента. Так, ядро вугляроду запісваюць: $^{12}_6\text{C}$ — масавы лік A зверху, зарад унізе злева; ядро цэзію — $^{133}_{55}\text{Cs}$. Наогул кажучы, зарад запісваць неабавязкова, мы ж высветлілі, што ў ядрах пэўнага хімічнага элемента лік пратонаў Z строга пэўны. Калі ўжо мы абазначылі элемент цэзія Cs , то і так зразумела, што ён займае 55-ю клетку ў перыядычнай табліцы і ў яго ядрах змяшчаецца 55 пратонаў.

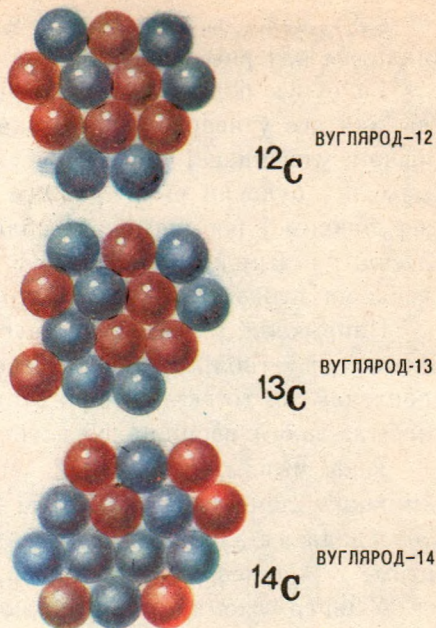
У той жа час колькасць нейтронаў у ядрах аднаго і таго ж элемента можа быць рознай. Большасць ядзер вугляроду сапраўды змяшчае 6 нейтронаў, але сустракаецца вуглярод, у якім нейтронаў 7 або нават 8. Ядры атамаў хімічнага элемента з розным лікам

нейтронаў называюцца *ізато-
памі*. Такім чынам, акрамя
вельмі распаўсюджанага ізато-
па ^{12}C , у прыродзе існуюць
дзе іншыя разнавіднасці вуг-
ляроду, або ізатопы ^{13}C і ^{14}C
(мал. 32).

Ведаючы лік нуклонаў A ,
можна ацаніць і масу ядра. Зра-
зумела, што ядры ізатопаў ^{13}C
і ^{14}C цяжэйшыя за ядро ^{12}C .
Але хіба прырода настолькі
марнатраўная, што «прыдума-
ла» нейтроны толькі для паця-
жэння ядзер? Вядома, не!

Галоўная задача нейтронаў
зключаецца ва «ўмацаванні»
ядра. Пры ўзаемадзеянні ну-
клонаў забяспечваецца трыва-
ласць ядра: ядро вельмі няпро-
ста разбурыць, для гэтага трэба
затраціць многа энергіі. У боль-
шасці ядзер хімічных элемен-
таў, з якіх пабудавана рэчыва, захоўваюцца пэўныя суадносіны
паміж лікам пратонаў і нейтронаў, што і забяспечвае неабходную
іх устойлівасць. Такія ядры называюцца *стабільнымі*. Можна
сказаць, што яны існуюць вечна (праўда, вучоныя навучыліся
разбураць любыя ядры).

Калі стабільныя суадносіны паміж лікам пратонаў і нейтронаў
па той або іншай прычыне парушаны (напрыклад, нейтронаў
вельмі многа), то такія ядры імкнуцца што б там ні было вярнуцца
да стану найбольшай устойлівасці. Яны могуць выпраменіць «ліш-
нія» пратоны ў саставе альфа-часціцы. Або нейтрон ператвараец-
ца ў пратон (або наадварот), каб стабільныя суадносіны паміж
пратомамі і нейтронамі аднавіліся. Безумоўна, пры гэтым няўстой-
лівыя ядры ператвараюцца ў ядры іншых атамаў. Такія ядры
назваюцца *радыеактыўнымі*, а сама з'ява няўстойлівасці (пера-
тварэння адных ядзер у другія) — *радыеактыўнасцю*. Напрыклад,
з трох ужо вядомых нам ізатопаў вугляроду ^{12}C і ^{13}C стабільныя,
а вуглярод-14 (^{14}C) радыеактыўны і здольны ператварацца ў ядро
азоту.



Мал. 32. Ядры трох ізатопаў вугля-
роду.

Працэс ператварэння ядзер называюць таксама *радыеактыўным распадам* або проста *распадам*. Магчыма, гэты тэрмін не самы лепшы (пры распадзе ядро ж не гіне, а толькі становіцца іншым!), але ім шырока карыстаюцца. У далейшым мы яго таксама будзем прымяняць.

Вы, напэўна, звярнулі ўвагу, што да гэтага часу мы пазбягалі называць дакладны лік вядомых атамаў, абмяжоўваючыся няпэўным «каля ста». Справа ў тым, што спіс ядзер, у якіх ёсць стабільныя ізатопы, заканчваецца на $Z = 82$. У гэтай клетцы табліцы элементаў размяшчаецца свінец. Усе далейшыя клеткі займаюць няўстойлівыя ядры, г. зн. усе без выключэння ізатопы ядзер з $Z > 82$ радыеактыўныя. У самым канцы табліцы знаходзяцца экзатычныя ядры атамаў мендзялевію ($Z = 101$), нобелію ($Z = 102$), лаўрэнсію ($Z = 103$). Усе яны атрыманы штучна. У прыродзе іх няма, таму што яны надзвычай хутка распадаюцца. Патраціўшы многа намаганняў, энергіі і эксперыментальнага майстэрства, можна атрымаць нават больш цяжкія ядры. Гэта патрэбна для вывучэння ўласцівасцей ядзер і законаў мікрасвету, хаця, вядома, ні ў адной малекуле рэчыва Зямлі такіх ядзер не існуе.

Дык з якой жа колькасці розных атамаў «сканструяваны» навакольны свет? На гэта пытанне трэба адказаць асцярожна. У прыродзе, якая акружае нас, многа атамаў вадароду, вугляроду (з іх у асноўным складаецца ўся «жывая прырода» — расліны і жывёлы), кіслароду, крэмнію (вада, пясок), дастаткова жалеза. Затое зусім нямнога плаціны, золата, ірыдыю. А ці чулі вы аб такіх элементах, як эрбій або лютэцый? Яны таксама ёсць, але ў вельмі малой колькасці.

Такім чынам, у прыродзе ёсць розныя запасы атамаў. У іх лік трэба ўключыць 82 атам (ад вадароду да свінцу), якія маюць стабільныя ізатопы. Сюды ж трэба дадавіць і некаторыя больш цяжкія радыеактыўныя, калі яны не распадаюцца вельмі хутка (напрыклад, уран). Заўважым, што і ў першых 82 клетках, побач са стабільнымі, нярэдка знаходзяцца па суседству радыеактыўныя ізатопы, якія таксама ўключаюцца ў малекулы і нічым, акрамя здольнасці распадацца, не адрозніваюцца ад сваіх стабільных суседзяў па таблічнай клетцы. Напрыклад, ва ўсіх малекулах жывой прыроды на кожныя 1 000 000 000 000 (10^{12}) атамаў звычайнага вугляроду-12 прыпадае толькі адзін атам радыевугляроду ^{14}C .

Мы ўжо ведаем, якое важнае значэнне ў жыцці чалавека

адыгрывае радыеактыўнасць, нягледзячы на малую колькасць радыеізатопаў у прыродзе (у параўнанні з прыроднымі запасамі атамаў, штучна атрыманых радыеактыўных ядзер таксама нямнога). А цяпер мы павінны пазнаёміцца з асаблівасцямі радыеактыўнага распаду. Для гэтага неабходна разгледзець энергетычныя характарыстыкі ядзер.

Практыкаванні

1. Карыстаючыся перыядычнай табліцай элементаў, вызначце лік пратонаў у ядры атама стронцыю Sr.
2. Колькі пратонаў знаходзіцца ў ядры атама урану?
3. Колькі нейтронаў у ядры ізатопа ^{137}Cs ?
4. Уважліва разгледзьце перыядычную табліцу. Знайдзіце атамы хімічных элементаў, якія вам знаёмыя. Колькі іх? Хто ў вашым класе можа назваць самы вялікі лік хімічных элементаў?

2. ЭНЕРГЕТЫКА ЯДЗЕР. ГАМА-ВЫПРАМЕНЬВАННЕ

Калі чалавек адпачывае, гэта не значыць, што ў ім заміраюць усе энергетычныя працэсы: працуе сэрца, адбываецца абмен рэчываў... Ядро таксама можа знаходзіцца ў стане спакою (яно нават аддае перавагу такому стану), маючы запас уласнай энергіі. Гэты запас называецца *энергіяй спакою*. Але ядро можна ўзбудзіць, калі яму якім-небудзь чынам перадаць энергію.

Прырода пабудавана так, што паглынаць энергію ядро здольнае толькі порцыямі. Усведамленне гэтага факта прывяло да сапраўднай рэвалюцыі ў фізіцы. Такім чынам, ядро заўсёды знаходзіцца як бы на пэўнай энергетычнай «прыступцы». Меншая энергія ўзбуджэння — ніжэйшая прыступка, большая — больш высокая. Праўда, у кожнай прыступкі свая «вышыня» E нават для аднаго ядра.

Пры пераходзе на ніжнюю прыступку ўзбуджанае ядро траціць (аддае) лішнюю энергію таксама порцыямі.

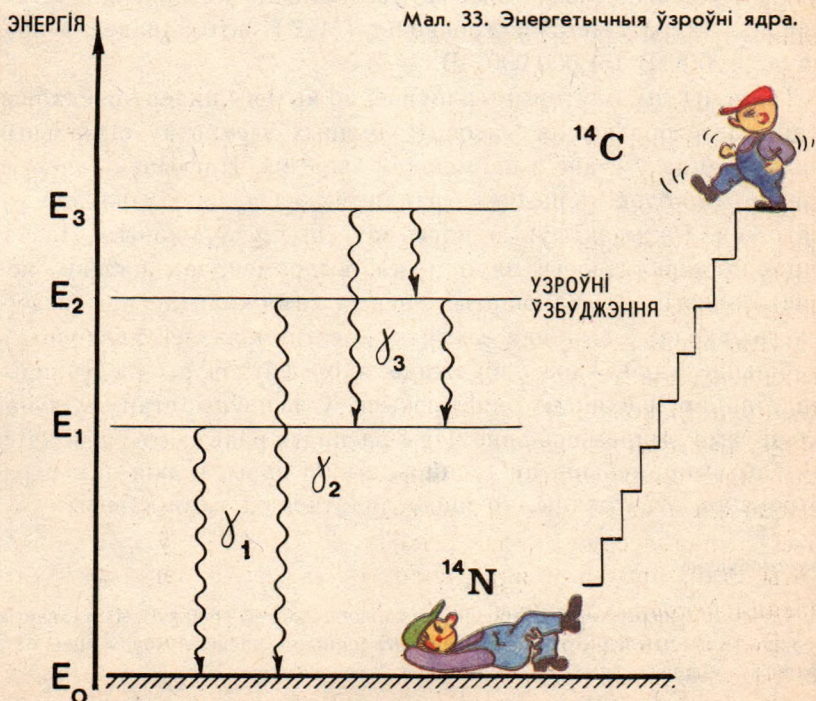
Значыць, кожнае ядро мае сваю энергетычную «лесвіцу» з рознавялікімі прыступкамі. Але ядры, як і большасць людзей, лічаць за лепшае не траціць намаганняў, каб узбірацца наверх, і пры любой магчымасці імкнуцца аказацца ніжэй, лепш за ўсё ў самым нізе — «пад лесвіцай», дзе створаны надзейныя ўмовы спакою. Гэты стан, пры якім ядро валодае найменшай энергіяй, называецца *асноўным станам*.

Большасць ядзер навакольнай прыроды з'яўляюцца *стабільнымі*. Нестабільныя, радыеактыўныя ядры-ізатопа ад нараджэння

вымушаны жыць на занадта высокіх прыступках энергетычнай лесвіцы. Гэта ім не падабаецца, і яны шукаюць любую магчымасць «спусціцца». Нават калі для гэтага трэба ператварыцца ў ядро іншага хімічнага элемента.

Мы ўжо ведаем, што такое ператварэнне называецца радыеактыўным распадам. Пры распадзе радыеактыўныя ядры выпраменьваюць *альфа-* або *бэта-часціцы*, якія выносяць лішнюю энергію. Некаторым ядрам удаецца такім чынам пазбавіцца ад усёй залішняй энергіі. Напрыклад, ядро радыевугляроду ^{14}C , выпраменьваючы бэта-часціцу, адразу аказваецца ў асноўным стане ядра азоту-14. Але большасці «шанцуе» менш. Спачатку, выпраменіўшы часціцу, яны трапляюць на энергетычную лесвіцу «чужога» ядра, па якой «спускацца» лягчэй.

На малюнку 33 паказана *энергетычная дыяграма*, на якой энергія ядра адкладзена па вертыкальнай восі. Магчымыя энергетычныя ўзроўні ўзбуджанага ядра — «прыступкі» (на малюнку іх тры: E_1 , E_2 , E_3) паказаны гарызантальнымі лініямі. Самы ніжні, асноўны ўзровень E_0 (пачатак энергетычнай лесвіцы) адпавядае энергіі спакою. Усе астатнія называюцца *ўзроўнямі ўзбуджэння*.



Пры пераходзе на ніжнія ўзроўні адбываецца выпраменьванне *гама-квантаў*. На дыяграме пераходы абазначаны вертыкальнымі стрэлкамі. Выпраменьваемая пры гэтым энергія роўна рознасці энергій паміж адпаведнымі ўзроўнямі.

Відавочна, што гама-кванты — гэта порцыі энергіі. Бачнае святло, напрыклад сонечнае, таксама складаецца з квантаў, але ў іншым энергетычным дыяпазоне, а энергія гама-квантаў намнога большая.

Энергію, зразумела, можна вымяраць, як звычайна, у джоўлях. Аднак у мікрасвеце, з якім мы цяпер знаёмімся, тады прыйшлося б карыстацца дробамі з многімі нулямі пасля коскі. Больш зручная іншая адзінка энергіі — *электронвольт* (эВ). Гэта вельмі маленькая велічыня, якая адпавядае $0,00000000000000000016$, або $1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж. Такую энергію набывае электрон у электрычным полі з рознасцю патэнцыялаў 1 В.

У гэтых адзінках энергія квантаў бачнага святла (іх яшчэ часта называюць фатонамі) — каля 2 эВ. Гама-кванты, выпраменьваемыя пры ядзерных пераходах, маюць энергію ў дзесяткі і сотні тысяч электронвольт.

Вы ўжо карысталіся прыстаўкамі «кіла» (тысяча) і «мега» (мільён). У мікрасвеце таксама прымяняюць адзінкі: кілаэлектронвольт (кэВ) і мегаэлектронвольт (МэВ), што адпаведна абазначае 1000 эВ і 1 000 000 эВ.

Такім чынам, паўторам галоўнае, аб чым вы цяпер даведаліся. У прыродзе большасць ізатопаў хімічных элементаў стабільныя і знаходзяцца ў стане з найменшай энергіяй. Паглынуць энергію ядро можа толькі порцыямі, трапляючы на адзін з узроўняў узбуджэння. Радыеактыўныя ядры заўсёды «ўзбуджаны». Пазбавіцца ад лішку энергіі ядро можа, выпраменьваючы часціцу або порцыі энергіі — гама-кванты. Энергія гама-квантаў пры ядзерных пераходах звычайна дзесяткі — сотні кілаэлектронвольтаў. Стабільнае ядро, якое ўзбуджана якім-небудзь чынам (напрыклад, апраменьваннем), вяртаючыся ў асноўны стан, вылучае толькі гама-выпраменьванне. Пры распадзе радыеактыўныя ядры заўсёды выпраменьваюць часціцы, а калі ядры, у якія яны ператвараюцца, узбуджаны, то яшчэ дадаткова і гама-кванты.

Практыкаванне

Ядро мае 2 энергетычныя ўзроўні ўзбуджэння: 220 кэВ і 650 кэВ. Якую энергію мае гама-квант пры пераходзе: а) з верхняга на ніжні ўзровень узбуджэння? б) з верхняга і ніжняга ўзроўняў узбуджэння ў асноўны стан?

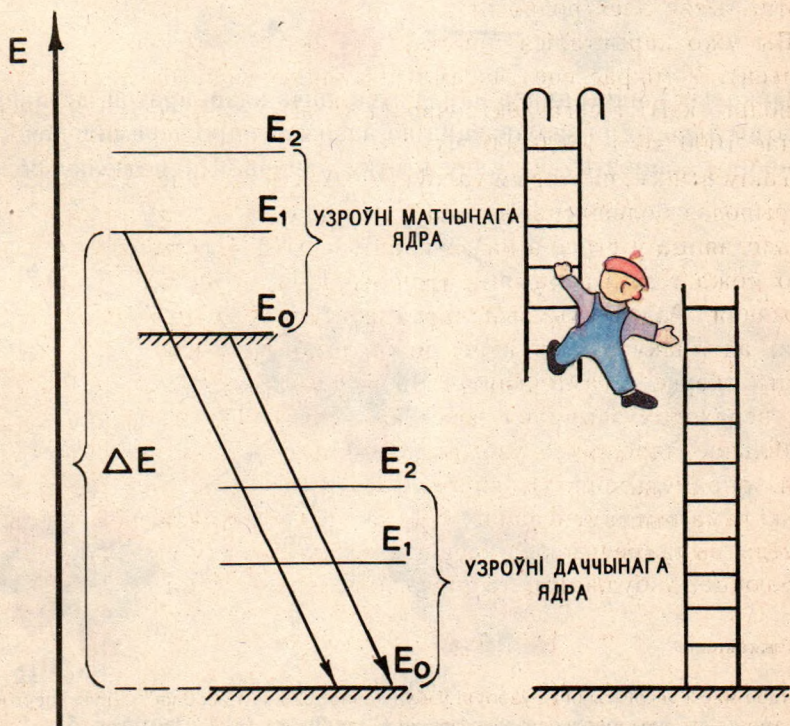
3. АЛЬФА-РАСПАД

Аб тым, што імкнучыся да найбольш устойлівага стану, радыеактыўныя ядры выпраменьваюць часціцы, мы ўжо гаварылі. Цяпер падрабязней разгледзім, што гэта за часціцы.

Альфа-часціца складаецца з чатырох нуклонаў: двух пратонаў і двух нейтронаў. Гэта значыць, што яе масавы лік $A = 4$, а зарад $Z = 2$. Але ў другой клетцы табліцы элементаў знаходзіцца гелій, таму альфа-часціцу можна абазначыць і як ядро ${}^4_2\text{He}$.

З пункту погляду «эканоміі» ўнутранай энергіі, большасці вельмі цяжкіх радыеактыўных ядзер, напрыклад ядрам урану або плутонію, больш «выгодна» выпраменьваць альфа-часціцу, ператварыўшыся ў ядры іншых элементаў, чым заставацца на самым версе іх вельмі высокай і няўстойлівай энергетычнай «лесвіцы». Пры гэтым выпраменьваючае часціцу *матчынае* (радыеактыўнае) ядро пераўтвараецца ў *даччынае* (мал. 34), у якога зарад на 2, а масавы лік на 4 меншыя.

Мал. 34. Альфа-пераходы.



4. БЭТА-РАСПАД

Бэ́та-часціцы — гэта агульная назва электронаў і пазітронаў. Мы ўжо ведаем, што менавіта электроны верцяцца вакол ядра на арбітах у атаме. Вывучаючы электрычнасць, вы, напэўна, паспелі пазнаёміцца з іх уласцівасцямі. Пазітрон адрозніваецца, у першую чаргу, зарадам: зарад у яго дадатны.

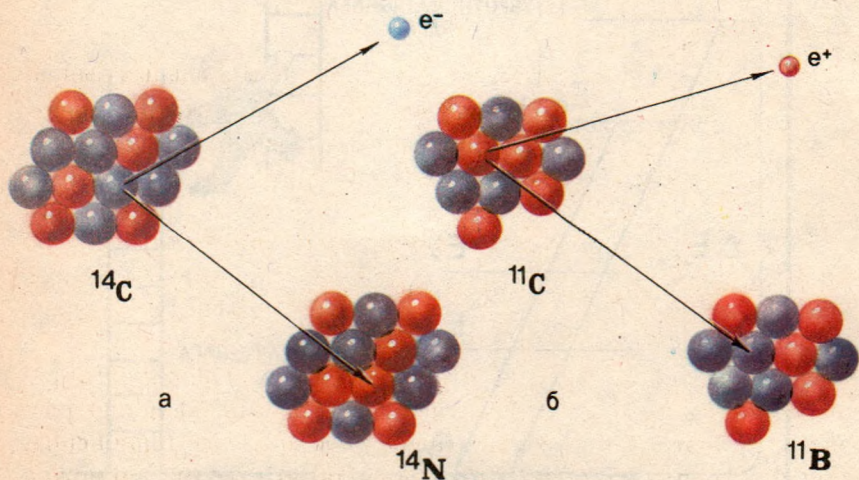
Многія радыеактыўныя ядры «пераскокваюць» на больш нізкую энергетычную лесвіцу ядра з суседняй клеткі перыядычнай табліцы элементаў, выпраменьваючы бэ́та-часціцу. Такое ператварэнне называецца *бэ́та-распадам*.

Значыць, пры распадзе ядро здольнае выпраменьваць электрон або пазітрон. Іншая справа — альфа-часціцы. Яны з'яўляюцца часткай ядра і толькі «чакаюць», каб вылецець у момант распаду. Але адкуль бяруцца бэ́та-часціцы, іх жа ў ядры няма?

Бэ́та-часціцы нараджаюцца непасрэдна ў акце распаду, калі адзін з ядзерных нуклонаў ператвараецца ў другі. Часцей за ўсё менавіта нейтрон, асабліва калі іх вельмі многа ў ядры, становіцца пратонам. У гэтым выпадку выпраменьваецца электрон:

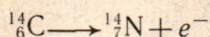


Паколькі ў ядры цяпер нарадзіўся яшчэ адзін пратон, агульны дадатны зарад Z павялічваецца на адзінку і ядро перамяшчаецца ў табліцы элементаў на адну клетку ўправа. На малюнку 35, а



Мал. 35. Бэ́та-распад з выпусканнем электрона (а) і пазітрона (б).

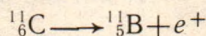
паказаны бэта-распад радыевугляроду, які ператвараецца ў азот:



Значна радзей адбываецца ператварэнне пратона ў нейтрон:



Пры гэтым вылятае пазітрон (мал. 35, б), а зарад ядра Z мяняецца на адзінку (ядро перамяшчаецца ў левую суседнюю клетку перыядычнай табліцы):



Максімальныя энергіі выпрамененых бэта-часціц залежаць ад узаемнага размяшчэння энергетычных «лесвіц» і мяняюцца ў вельмі шырокіх межах — ад дзесяткаў тысяч да мільёнаў электрон-вольт. Як і пры альфа-распадзе, радыеактыўнае ядро можа аказацца на адным з узроўняў узбуджэння даччынага ядра. У такім выпадку далейшы спуск па энергетычнай лесвіцы да асноўнага стану суправаджаецца выпраменьваннем гама-квантаў.

Практыкаванні

1. Пералічыце вядомыя вам віды радыеактыўнага распаду.
2. Ядро якога хімічнага элемента ўтвараецца пры распадзе з выпраменьваннем электронаў цяжкага радыеізатопа вадароду трытую ${}^3_1\text{H}$?

5. ЗАКОН РАДЫЕАКТЫЎНАГА РАСПАДУ

Мы пазнаёміліся з нестабільнымі ядрамі, якія здольныя выпраменьваць альфа- і бэта-часціцы, што часта суправаджаецца таксама гама-выпраменьваннем. Такія ядры мы назвалі радыеактыўнымі, а саму з'яву распаду — радыеактыўнасцю.

Але адны ядры распадаюцца вельмі хутка, а другія доўга «раздумваюць», ці варта «скакаць» на чужую энергетычную лесвіцу, і робяць гэта рэдка. «Час роздуму» апісваюць велічынёй, якую называюць *перыядам пайраспаду*. Для таго каб лепей зразумець, што гэта такое, правядзём дослед.

Але спачатку адзначым, што для кожнага канкрэтнага радыеактыўнага ядра зусім немагчыма вызначыць, калі яно распадзецца: у гэта імгненне, праз гадзіну або праз год. Іншая справа, калі такіх ядзер многа, напрыклад мільярды. Тады ўжо можна зрабіць вельмі істотныя прадказанні.

Вымяраючы колькасць распадаў ΔN за пэўны адрэзак часу Δt , напрыклад за секунду, праназіраем, як хутка памяншаецца гэта велічыня з часам. Велічыня $A = \Delta N / \Delta t$ называецца **актыўнасцю**. Можна заўважыць, што актыўнасць аднаго сорту ядзер убывае на вачах, а для другога сорту, каб гэта выявіць, патрэбна некалькі гадоў або мільёны гадоў.

Дослед зручна праводзіць з радомам — радыеактыўным газам, актыўнасць якога памяншаецца даволі хутка. Аказваецца, што праз час $T = 3,8$ дня яна зніжаецца ў два разы; праз наступныя 3,8 дня — яшчэ ўдвая і гэтак далей. Няхай у пачатковы момант $t = 0$ (пачатак доследу) $A = A_0 = 1000$ распадаў у секунду. Запішам вынікі ў табліцу:

Табліца 2

Час, дні	Актыўнасць, расп/с	Час, дні	Актыўнасць, расп/с
0	1000	$t=0$	A_0
3,8	500	$t=T$	$A_0/2$
7,6	250	$t=2T$	$A_0/2^2$
11,4	125	$t=3T$	$A_0/2^3$
...

Атрымліваецца, што актыўнасць радону ў любы момант часу t (у днях):

$$A_t = \frac{1000}{2^{t/3,8}},$$

або ў агульным выглядзе:

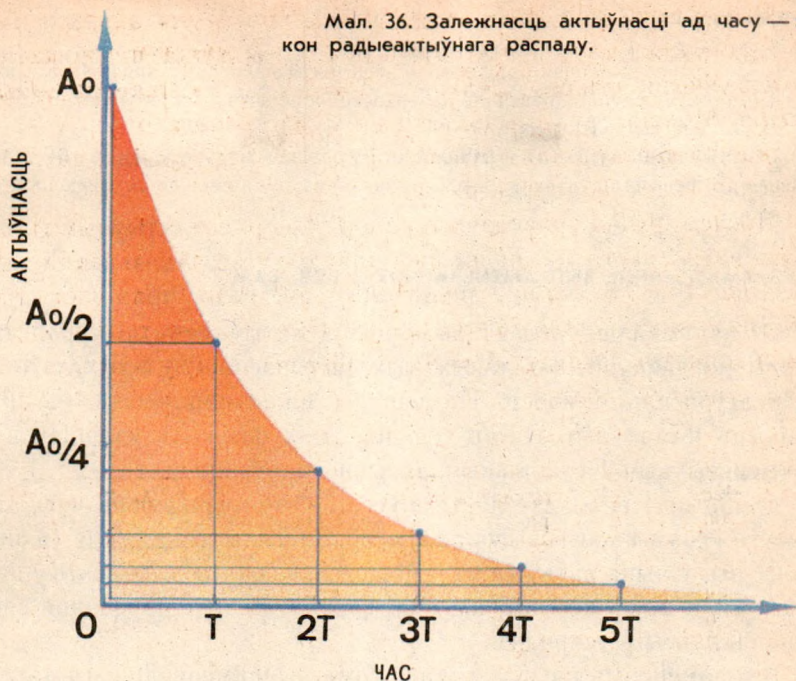
$$A_t = \frac{A_0}{2^{t/T}}.$$

T называецца перыядам паўраспаду. Гэта час, праз які актыўнасць радыеактыўнага рэчыва ўбывае ўдвая. У кожнага віду ядзер свой перыяд паўраспаду. Ён можа мяняцца ад доляў секунды да мільярдаў гадоў.

Формула, якую мы з вамі атрымалі, уяўляе матэматычны запіс **закону радыеактыўнага распаду**. А на малюнку 36 закон прадстаўлены ў выглядзе графіка. Ён наглядна паказвае, як з часам змяняецца актыўнасць дадзенага радыеактыўнага рэчыва.

Мы вымяралі актыўнасць у распадах за секунду. Адзінка актыўнасці — 1 расп/с называецца **бекерэль** (Бк), па імені французскага вучонага, які адкрыў радыеактыўнасць. Такім чынам, калі ў радыеактыўным узору кожную секунду распадаецца 500 ядзер, гавораць, што актыўнасць гэтага ўзору роўна 500 беке-

Мал. 36. Залежнась актыўнасці ад часу — закон радыеактыўнага распаду.



рэляў (500 Бк). Важна не блытаць: усяго радыеактыўных ядзер ва ўзоры, вядома, значна больш, але з іх у дадзеным выпадку 500 распадаецца штосекундна.

Адзінка, у тысячу разоў большая, называецца кілабекерэль (кБк); у мільён разоў — мегабекерэль (МБк).

Вымярэнні актыўнасці радыю (радыеактыўнага элемента, упершыню вылучанага французскімі фізікамі мужам і жонкай Кюры) паказалі, што ў 1 г гэтага элемента кожную секунду адбываецца $3,7 \cdot 10^{10}$ распадаў, г. зн. 37 мільярдаў. Паколькі ў той час радый быў адзіным ізатопам, з якім праводзіліся доследы па вывучэнню радыеактыўнасці, гэту велічыню прынялі за адзінку актыўнасці і назвалі *кюры* (Кы). Часам ёю карыстаюцца і цяпер, як і вытворнымі адзінкамі: у тысячу разоў меншай — мілікюры (мКы), у мільён разоў меншай — мікракюры (мкКы).

Для таго каб перайсці ад актыўнасці ў гэтых устарэлых адзінках да актыўнасці ў бекерэлях, трэба выкарыстаць суадносіны:

$$1 \text{ Кы} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$$

1. Паверхневая канцэнтрацыя актыўнасці на мясцовасці складае 40 Кы/км². Падлічыце, чаму роўна адпаведная паверхневая канцэнтрацыя актыўнасці ў беке-рэлях на адзін квадратны метр.

2. Актыўнасць цэзію-137 у бляшанцы згушчанага малака роўна 6 кБк. Улічваючы, што перыяд паўраспаду цэзію роўны 30 гадоў, вызначце актыўнасць праз 60 гадоў.

6. УЗАЕМАДЗЕЙННЕ ВЫПРАМЕНЬВАННЯЎ З РЭЧЫВАМ

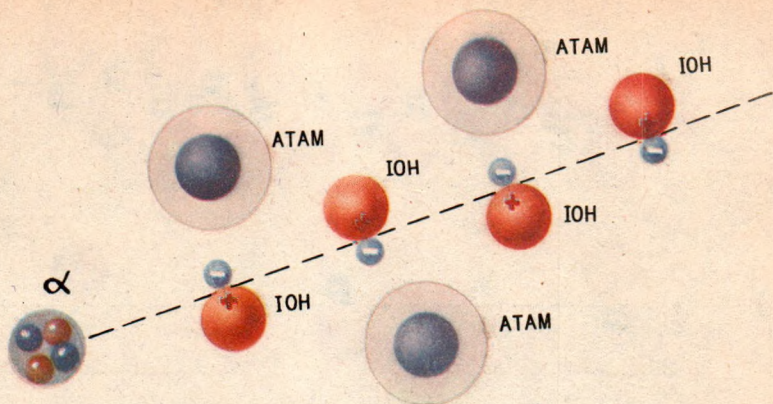
Ці задумваліся вы, як вымяраюць актыўнасць? Наўрад тут дапаможа пералік стабільных, тых, што распаліся, і тых, што не паспелі распацца ядзер. Па-першае, ядры нябачныя, так што і лічыць няма чаго. Па-другое, па сваіх фізічных уласцівасцях радыеактыўныя і стабільныя ядры не адрозніваюцца.

Аднак пры распадзе ядры заўсёды выпраменьваюць часціцы, а часта і гама-кванты высокай энергіі. Злічыць тыя і другія (а значыць, вызначыць актыўнасць выпраменьваючага радыеактыўнага рэчыва) не так ужо і цяжка, калі ведаць, як яны паводзяць сябе ў навакольным асяроддзі.

Выпрамененыя альфа-, бэта- і гама-выпраменьванні (у далейшым для іх абазначэння будзем карыстацца літарамі грэчаскага алфавіта: α , β і γ) урываюцца ў акружаючае рэчыва, для якога гэта не праходзіць бяследна. Там яны хутка трацяць сваю энергію, выклікаючы разнастайныя змяненні і «парушаючы парадак», г. зн. пакідаюць сляды.

Такім чынам, каб зразумець, чым небяспечныя радыеактыўныя выпраменьванні, ацаніць іх разбуральнае дзеянне і навучыцца іх рэгістраваць, трэба ведаць, як яны ўзаемадзейнічаюць з рэчывам.

Праходжанне альфа- і бэта-часціц праз рэчыва. Пралятаючы міма атамаў асяроддзя, зараджаная α - або β -часціца паступова, але вельмі хутка аддае ім сваю энергію і траціць хуткасць (тармозіцца). Атам, які атрымаў порцыю энергіі, узбуджаецца, гэта значыць пераходзіць на больш высокі ўзровень энергетычнай лясвіцы. Пралятаючая часціца наогул можа сарваць з яго арбіты электрон, і атам, што застаўся без яго, — іён — будзе імкнуцца адабраць электрон, якога не хапае, у суседніх атамаў. Так парушаецца былы парадак у размяшчэнні атамаў і малекул. Калі гэта адбываецца ў важным органе чалавечага цела, могуць узнікнуць вялікія непрыемнасці, у тым ліку такія, якія вядуць да цяжкага захворвання.



Мал. 37. Іанізацыя: утварэнне дадатна зараджаных часціц і электронаў за кошт перадачы энергіі α -часціц атамам.

Такім чынам, пры праходжанні часціцы праз рэчыва атамы ўзбуджаюцца або ператвараюцца ў іоны — дадатна зараджаныя часціцы, у якіх з абалонкі вырваны адзін або больш электронаў (мал. 37). Гэта з’ява называецца *іанізацыяй*.

На ўтварэнне адной пары іонаў у паветры патрабуецца энергія каля 30 эВ. Таму, чым большая энергія часціцы, тым больш пар іонаў яна стварае на сваім шляху ў рэчыве.

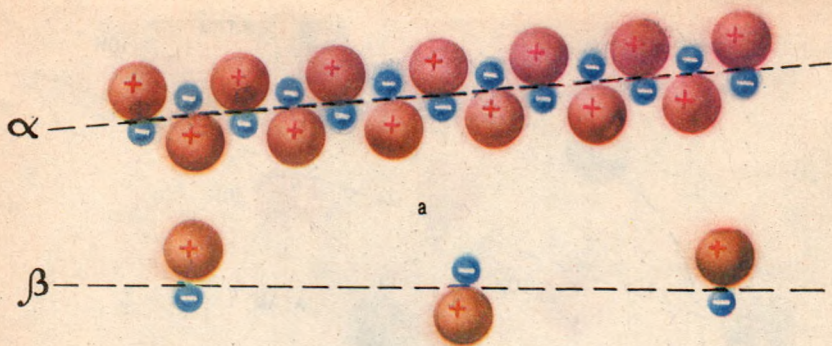
Цяпер разбяромся, з якой інтэнсіўнасцю выконваецца разбуральная работа. Няхай энергія часціцы $E=600$ кэВ. Гэта значыць, што ўсяго яна можа стварыць $600\,000:30=20\,000$ пар іонаў. Але вынікі для асяроддзя розныя ў залежнасці ад таго, утвараюцца яны каля адной кропкі або размеркаваны на вялікай прасторы, г. зн. ці траціць часціца энергію адразу або патроху на доўгім шляху. Няхай на ўчастку шляху x страчана частка энергіі E . Тады адносіны E/x ёсць страта энергіі на адзінку шляху і называецца *ўдзельнай стратай энергіі*. Аказалася, што велічыня ўдзельнай страты энергіі залежыць ад пачатковай энергіі часціцы E , яе зараду q і зараду атамаў асяроддзя Z :

$$\Delta E/\Delta x \sim \frac{1}{E}$$

$$\Delta E/\Delta x \sim q^2$$

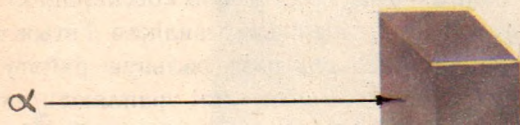
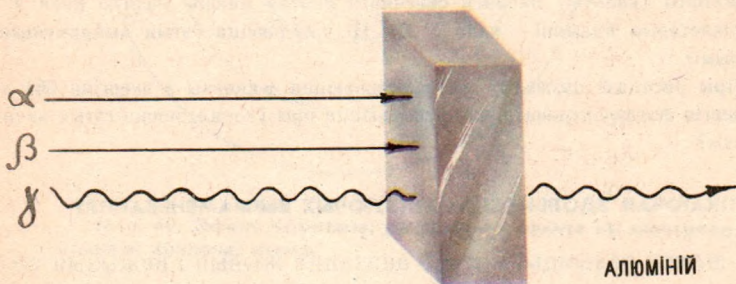
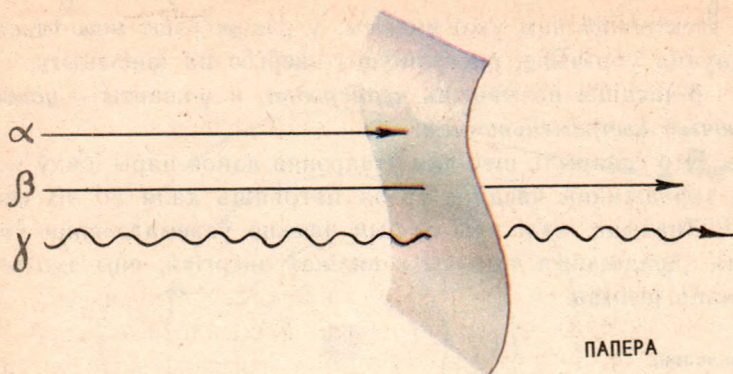
$$\Delta E/\Delta x \sim Z$$

Першыя суадносіны гавораць аб тым, што іанізацыя тым мацнейшая, чым меншая энергія часціцы. На першы погляд гэта можа здацца дзіўным, але лёгка тлумачыцца. На самай справе, калі ў часціцы вельмі вялікая энергія (вялікая хуткасць руху), яна



Мал. 38. Іонізація речыва альфа- (а), і бэта-часціцамі (б).

«не паспявае» перадаваць атамам сваю энергію. У павольных часціцах гэта атрымліваецца лепш.



неё адзенне і скура не з'яўляюцца перашкодай. Яны лёгка праходзяць ва ўнутраныя органы і небяспечныя пры апраменьванні звонку і знутры. Пры радыяцыйнай аварыі для аховы ад γ -квантаў лепш за ўсё знаходзіцца ва ўкрыцці або за тоўстымі экранамі цяжкага рэчыва, напрыклад свінцу, жалеза або бетону.

Практыкаванні

1. Ізотопы плутонію распадаюцца з выпраменьваннем α -часціц. ^{90}Sr зведвае β -распад. Чым небяспечныя гэтыя радыеактыўныя ядры?

2. Пры β -распадзе ^{137}Cs узнікаюць таксама γ -кванты з энергіяй 661 кэВ. Размясціце ў парадку павелічэння ахоўных уласцівасцей назвы наступных матэрыялаў: бетон, свінец, дрэва, шкло.

3. Падумайце, што можна зрабіць для аховы на мясцовасці, забруджанай цэзіем-137.

ДЗЕЯННЕ РАДЫЯЦЫІ НА НАВАКОЛЬНАЕ АСЯРОДДЗЕ

1. ХВАЛІ І ЭНЕРГІЯ

Да гэтага часу мы знаёміліся з малекуламі і атамамі, з якіх пабудаваны матэрыяльны свет. Але як узаемадзейнічаюць паміж сабой матэрыяльныя аб'екты, якім чынам чалавек усведамляе сваё месца ў навакольным асяроддзі, што прымушае яго мяняць біялагічныя паводзіны, прыстасоўвацца да ўмоў пражывання, што ўвесь час мяняюцца?

Навакольную прастору літаральна пранізваюць самыя разнастайныя выпраменьванні: не толькі бачнае святло і цеплавыя (інфрачырвоныя), але і ультрафіялетавыя прамяні, гукі і радыёхвалі... Дзякуючы ім чалавек пазнае прадметы, чуе, адчувае пахі.

Усе гэтыя і іншыя выпраменьванні, якія называюць электрамагнітнымі (акрамя гукаў), — розныя віды энергіі, якую даносяць да нас хвалі. Чым вышэйшая частата ваганняў хвалі ν , тым яна карацейшая і тым большая пераносімая ёю энергія E :

$$E \sim \nu = \frac{c}{\lambda} \quad (1)$$

У запісаных суадносінах c — скорасць святла, прыблізна роўная $3 \cdot 10^8$ м/с (каля 300 000 км/с). Даўжыню хвалі λ вымяраюць у метрах, а частату ν — у герцах. Герц абазначае лік ваганняў у 1 с.

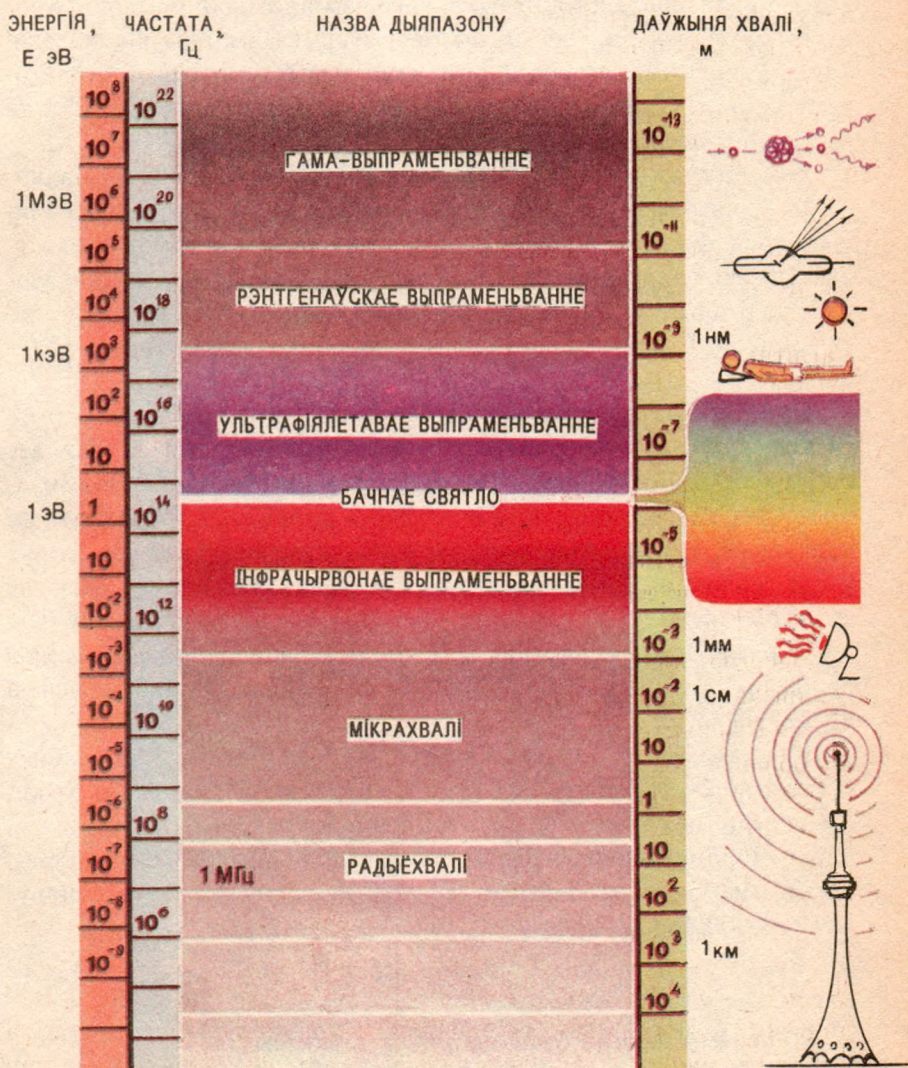
Энергію, вядома, можна вымяраць у джоўлях, але, як ужо гаварылася, у мікрасвеце, з якім мы цяпер знаёмімся, тады прыйшлося б карыстацца дробамі са многімі нулямі пасля коскі. Значна больш зручная іншая адзінка энергіі — электронвольт (эВ), які складае вельмі малую долю джоўля:

$$1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

Кожны з органаў пачуццяў чалавека «настроены» на прыём пэўнага дыяпазону частот (або энергіі): орган зроку — на бачныя прамяні (λ — 4—6,5 · 10⁻⁷ м, або 400—650 нм; E — каля 3 эВ); орган слыху — на гукавыя хвалі (ν — 16—20 000 Гц, E ад 7 · 10⁻¹⁴ да 8 · 10⁻¹¹ эВ); цяпло адчуваецца пры ўздзеянні інфрачырвонага выпраменьвання (E ад 0,005 да 1 эВ); пахі пераносяцца хвалямі з $\lambda = 1$ мм (E — тысячныя долі электронвольта).

З велізарнага дыяпазону электрамагнітных выпраменьванняў чалавекам успрымаюцца толькі вузкія ўчасткі (мал. 43). Лёгка ўявіць, наколькі багацейшым і разнастайнейшым здаваўся б нам навакольны свет, калі б мы не былі настолькі «сляпыя»! Аднак і даступныя органам хвалевыя дыяпазоны забяспечваюць дастаткова бяспечнае існаванне.

Можна, мабыць, сказаць, што прырода прадугледзела толькі самае неабходнае для бяспечнага біялагічнага развіцця віду ва



Мал. 43. Электрамагнітныя хвалі.

ўмовах на нашай планеце, якія пэўным чынам склаліся і змяняюцца вельмі слаба. Страта любога з успрыманняў рэзка павялічвае небяспеку. Дастаткова ўспомніць, у якім цяжкім становішчы на вуліцы аказваецца сляпы, якія бескарысныя гудкі машын для глуханамога.

Мы не дарэмна казалі, што органы пачуццяў разлічаны на ўмовы асяроддзя пражывання, якія мяняюцца мала. Але што, калі ў адным з «нябачных» дыяпазонаў выпраменьванне рэзка ўзрастае? Не падазраваючы аб гэтым, арганізм не зможа прыняць меры аховы і, хутчэй за ўсё, загіне. У гісторыі Зямлі рэзкія ваганні клімату, магнітнага поля і іншых важнейшых для жыцця характарыстык былі. Відаць, адна з такіх прычын прывяла, напрыклад, да вымірання дыназаўраў.

Такім чынам, выпраменьванні навакольнага асяроддзя, з аднаго боку, прыносяць радасць паўнацэнных зносін з прыродай і іншымі людзьмі, з другога — папярэджваюць аб магчымай небяспецы. Органиаў, якія адчувалі б небяспечную прысутнасць іанізуючай радыяцыі, у чалавека, на жаль, няма. Для таго каб яе выявіць, неабходныя спецыяльныя прылады — *дазіметры і радыёметры*.

Прылады дапамагаюць і ва ўсіх іншых выпадках, калі трэба рэгістраваць электрамагнітныя выпраменьванні ў дыяпазонах, дзе органы пачуццяў «сляпыя» (напрыклад, радыёпрыёмнікі, тэлевізары). Аднак пагранічныя нізкачастотныя дыяпазоны добра асвоены чалавекам, і названыя прылады ёсць ледзь не ў кожным доме, у адрозненне ад дазіметраў і радыёметраў, якія пакуль яшчэ не сталі бытавымі. Да нядаўняга часу большасці людзей выяўляць іанізуючыя выпраменьванні і не патрабавалася, паколькі натуральны радыеактыўны фон ніякай асобай, паўсядзённай небяспекі не ўяўляе.

Рэнтгенаўскія і гама-кванты адрозніваюцца ад іншых ЭЛМ-выпраменьванняў толькі вельмі кароткай даўжынёй хвалі, а значыць, высокай энергіяй. Мы ўжо ведаем, што ўзбуджаныя ядры выпраменьваюць энергію дыскрэтна, порцыямі. У суадносіны (1) можна ўвесці каэфіцыент прапарцыянальнасці. Гэта — славатая пастаянная Планка h :

$$h = 6,625 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}, \text{ або } 4,14 \cdot 10^{-15} \text{ эВ} \cdot \text{с}$$

Цяпер мы можам удакладніць суадносіны (1):

$$E = h\nu \quad (2)$$

Ураўненне (2) дазваляе разлічыць даўжыню хвалі гама-кванта, калі вядома яго энергія. Большасць γ -квантаў маюць энергію ад некалькіх дзесяткаў кілаэлектронвольтаў да 1,5 МэВ. Гэта ўраўненне можна прымяніць да ўсіх электрамагнітных хваль, у тым ліку да хваль бачнага святла, у якім энергія таксама пераносіцца порцыямі (квантамі). Для таго каб не блытаць іх з гама-квантамі, нізкаэнергетычныя светлавя кванты называюць *фато-намі*.

Значыць, даўжыня хвалі (частата) і энергія звязаны паміж сабой: чым большая даўжыня хвалі λ , тым меншая энергія E , і наадварот. Матэрыяльныя аб'екты навакольнага свету таксама можна апісваць, прыпісваючы ім характэрныя хвалевы дыяпазон — ад гравітацыйных хваль для астрафізічных аб'ектаў (зоркі, галактыкі і да т. п.) да звышкароткіх для мікрачасціц. β -, α - і іншыя часціцы апісваюцца так званымі хвалямі дэ Бройля (падрабязней аб дуалізме хваля-часціца будзе расказана ў агульным курсе фізікі для старшых класаў). Ведаючы даўжыню хвалі дэ Бройля λ_B , разлічыць энергію часціцы можна па ўраўненню (2), калі ў ім λ замяніць на λ_B .

Такім чынам, пад радыяцыяй мы разумеем выпраменьванне часціц або квантаў з надзвычай малой даўжынёй хвалі і, значыць, вельмі высокай энергіяй, успрыманне якой недаступна органам пачуццяў чалавека.

Практыкаванні

1. Ізатоп ^{137}Cs выпраменьвае γ -кванты з энергіяй 661 кэВ. Разлічыце частату і даўжыню хвалі гэтага выпраменьвання.
2. Вызначце даўжыню хвалі дэ Бройля для электронаў з энергіяй 1 МэВ.
3. У колькі разоў энергія γ -выпраменьвання ^{137}Cs большая за энергію фатонаў бачнага святла?

2. РАДЫЯЦЫЙНЫ ЭФЕКТ. ПАНЫЦЕ ДОЗЫ

Радыяцыя выклікае змяненні ў навакольным асяроддзі і аб'ектах, якія сустракаюцца на яе шляху. Гэтыя змяненні (парушэнне структуры рэчыва, а ў жывых аб'ектах біялагічныя парушэнні або нават гібель) называюцца *радыяцыйнымі эфектамі*.

Радыяцыйныя эфекты звязаны з утварэннем зарадаў на шляху руху часціц або квантаў. Напомнім, што зарады ўтвараюцца пры іанізацыі — асноўным механізме паглынання энергіі зараджаных часціц у рэчыве. Так паглынаюцца α - і β -часціцы, і яны называюцца *непасрэдна іанізуючымі часціцамі*. γ -Кванты іанізацыю не вы-

клікаюць, але пры ўзаемадзеянні ўтвараюць фота- або комптанаўскія электроны, якія, у сваю чаргу, іанізуюць асяроддзе. Таму γ -кванты называюць *ўскосна іанізуючым выпраменьваннем*.

Такім чынам, радыеактыўнае выпраменьванне — гэта іанізуючае выпраменьванне (непасрэдна або ўскосна), здольнае выклікаць радыяцыйныя эфекты.

Колькасць зарадаў, якія ўтвараюцца пры іанізацыі, залежыць ад энергіі выпраменьвання, паглынутай у асяроддзі. Велізарная энергія часціцы або кванта растрачваецца на разбуральную работу. Чым больш такіх часціц або квантаў уздзеінічае на аб'ект і чым большая іх энергія, тым больш моцна праяўляюцца радыяцыйныя эфекты.

Для таго каб прадказаць велічыню радыяцыйнага эфекту, трэба навучыцца вымяраць інтэнсіўнасць уздзеяння іанізуючага выпраменьвання. Як вынікае з прыведзеных вышэй разважанняў, гэта можна зрабіць, вымераўшы паглынутую ў аб'екце энергію або сумарны зарад, які ўтварыўся ў ім.

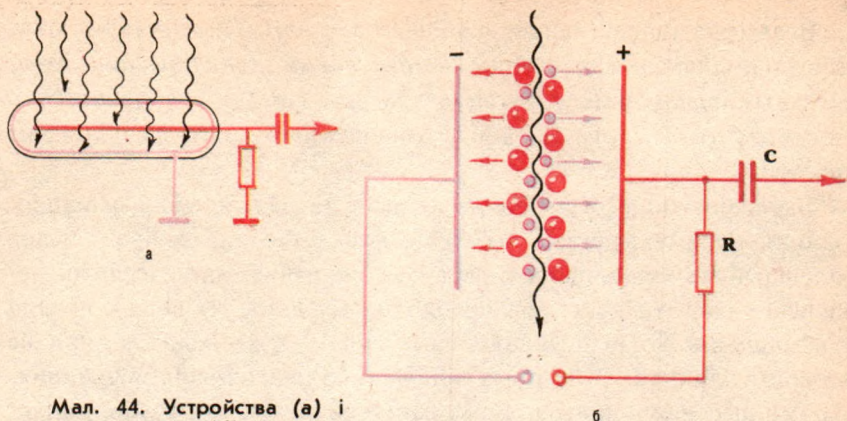
Колькасць энергіі радыяцыі, паглынутай у адзінцы масы рэчыва, называюць *паглынутай дозай*. Яе вымяраюць у *грэях* (Гр). 1 Гр адпавядае паглыннанню 1 Дж энергіі іанізуючага выпраменьвання ў 1 кг рэчыва. Часам яшчэ прымяняецца старая адзінка *рад*. Карысна запомніць, што суадносіны паміж імі:

$$1 \text{ Гр} = 100 \text{ рад}$$

Вымераць паглынутую дозу вельмі няпроста, бо энергіі ў 1 Дж ледзь хапае, каб нагрэць чайную лыжку вады на 1 °С, а рэальна даводзіцца вымяраць дозы, значна меншыя, чым 1 Гр. Звычайна ў дазіметрыі (навуцы, якая займаецца дозамі іанізуючага выпраменьвання) прымяняюць разнастайныя ўскосныя фізічныя і хімічныя метады, якія мы тут разглядаць не будзем.

Вымераць поўны зарад іонаў у цвёрдых целах таксама вельмі няпроста, таму што дадатна і адмоўна зараджаныя іоны паспяваюць узаемна знішчыцца (рэкамбінаваць) яшчэ да таго, як трапяць на збіраючыя электроды і будуць зарэгістраваны. Затое ў газах, у тым ліку ў паветры, сабраць зарад ад іанізацыі няцяжка. Прасцейшая прылада, дзе гэта ажыццяўляецца, уяўляе паветраны кандэнсатар, да абкладак якога прыкладзена рознасць патэнцыялаў U (мал. 44). Пад дзеяннем U электроны накіроўваюцца да дадатнага электрода, а дадатныя іоны — да адмоўнага.

Такія прылады — іанізацыйныя камеры, лічыльнікі Гейгера — Мюлера і іншыя — вядомы даўно і прымяняюцца для рэгістрацыі



Мал. 44. Устройства (а) і принцип дзеяння (б) прылады для рэгістрацыі іанізуючых выпраменьванняў.

радыеактыўных выпраменьванняў і вымярэння дозы многа дзесяткаў гадоў. Самая простая канструкцыя ўяўляе шкляную трубку, па восі якой нацягнута ніць (збіраючы электрод).

Мы, аднак, ведаем, што прабегі β - і асабліва α -часціц у шчыльным асяроддзі вельмі малыя. Сценкі іанізацыйнай прылады, якімі б тонкімі яны ні былі, поўнасьцю затрымліваюць α -выпраменьванне і большасць β -часціц. Такім чынам, у паветраным аб'ёме такога лічыльніка вымяраецца толькі доза пранікаючага γ - або рэнтгенаўскага выпраменьвання.

З дапамогай іанізацыйнага дазіметра вымяраюць *экспазіцыйную дозу рэнтгенаўскага або гама-выпраменьвання ў паветры*. Адзінка экспазіцыйнай дозы — *кулон на кілаграм паветра* (Кл/кг). Вымераўшы сабраны зарад Q у кулонах, можна вызначыць поўны лік пар іонаў, утвораных у аб'ёме паветранага дазіметра, паколькі зарад аднаго іона $q = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл:

$$n = \frac{Q}{q}$$

Паколькі на ўтварэнне адной пары іонаў у паветры патрабуецца прыкладна 34 эВ, іанізацыйны метад дазваляе вымераць і паглынутую дозу ў грэях, але, вядома, толькі ад γ - і рэнтгенаўскага выпраменьванняў.

У дазіметры ўсё яшчэ шырока выкарыстоўваецца старая адзінка экспазіцыйнай дозы *рэнтген* (Р) і вытворныя ад яе адзінкі: у тысячу разоў меншая — мілірэнтген (мР), у мільён разоў меншая — мікрарэнтген (мкР). Суадносіны паміж адзінкамі:

$$1 \text{ Кл/кг} = 3876 \text{ Р}$$

Вельмі важнае паняцце, асабліва калі інтэнсіўнасць іанізуючага выпраменьвання мяняецца, — *магутнасць экспазіцыйнай дозы*, якую вымяраюць у мілірэнтгенах у гадзіну (мР/г), мікрарэнтгенах у секунду (мкР/с) і г. д. або ў амперах (мА, мкА) на кілаграм паветра.

Экспазіцыйная доза не мае адносін да радыяцыйнага пашкоджання апраменьваемых аб'ектаў, але затое яна добра апісвае радыяцыйнае становішча вакол іх, падказвае, якая ступень небяспекі і якія ахоўныя меры неабходна прыняць. На першы погляд у вызначэнні экспазіцыйнай дозы ёсць істотны недахоп: яна не ўлічвае ўклады α -, β - і іншых відаў іанізуючага выпраменьвання, акрамя высокапранікаючых γ - і рэнтгенаўскага. Не трэба, аднак, забываць, што практычная каштоўнасць экспазіцыйнай дозы заключаецца ў тым, што яна, у першую чаргу, павінна апісваць радыяцыйнае становішча вакол чалавека, *дозу знешняга апраменьвання*, якая дзейнічае на яго. З прычыны кароткіх прабегаў зараджаных (α -, β -) часціц, выпрамененых радыеактыўнымі рэчывамі, якія выпалі на мясцовасці, адпаведныя ўклады ў дозу па вышыні мяняюцца літаральна ад сантыметра да сантыметра. Толькі доза пранікаючага выпраменьвання дастаткова аднародная, можа быць надзейна вымерана і сведчыць аб рэальнай небяспецы знешняга радыяцыйнага ўздзеяння на чалавечы арганізм.

У тых рэдкіх выпадках, калі неабходна вызначыць небяспеку іанізуючага апраменьвання ад завіслай у паветры радыеактыўнасці, карыстаюцца адзінкамі актыўнасці ў адзінцы аб'ёму паветра, напрыклад бекерэль на метр кубічны (Бк/м³).

Практыкаванні

1. У выніку радыяцыйнай аварыі інжынер атамнай электрастанцыі атрымаў дозу 0,1 Гр. Колькі энергіі паглынулася ў яго целе, калі маса гэтага інжынера 80 кг?

2. Дазіметрам з аб'ёмам 0,1 л вымераны сумарны зарад 1 мкКл. Якая экспазіцыйная доза ў пункце вымярэння? (Шчыльнасць паветра прыняць роўнай 0,00129 кг/л.) Колькі пар іонаў утварылася ў аб'ёме дазіметра? Чаму роўна паглынутая энергія выпраменьвання ў дадзеным аб'ёме дазіметра? Якая вымераная паглынутая доза ў паветры?

3. ДЗЕЯННЕ РАДЫЯЦЫІ НА БІЯЛАГІЧНЫЯ АБ'ЕКТЫ

Калі мы хочам колькасна ацаніць уздзеянне іанізуючых выпраменьванняў на жывы арганізм, трэба дагаварыцца, што мы ў дадзеным выпадку разумеем пад радыяцыйнымі эфектамі, як і якія змяненні ў арганізме мы збіраемся вывучаць. Можна, напрыклад, вымяраць колькасць відазмененых біялагічных малекул пэўнага сорту, залежнасць гібелі клетак ад дозы апраменьвання або нават працэнт гібелі цэлых арганізмаў.

З павелічэннем дозы колькасць біялагічных парушэнняў (вельчыня радыяцыйнага эфекту) расце, з прычыны іх назапашвання ўзрастае і верагоднасць гібелі арганізма. У якасці аднаго з радыяцыйных эфектаў можна выкарыстаць *паўлятальную дозу*, або такую дозу іанізуючага апраменьвання, якая выклікае гібель паловы (50 %) усіх апраменьваных арганізмаў дадзенага віду ЛД₅₀. Але гібель амаль ніколі не бывае імгненнай: у залежнасці ад дозы гэта адбываецца праз некалькі гадзін, дзён або нават месяцаў. У той жа час любы жывы арганізм калі-небудзь памірае. Для таго каб больш дакладна вызначыць, што мы разумеем пад ЛД₅₀, дагаворваецца, што назіранні праводзяцца на працягу нейкага перыяду пасля апраменьвання, напрыклад на працягу 30 або 60 сутак. Такім чынам, выбраны радыяцыйны эфект, па якому ацэньваецца ўздзеянне радыяцыі, запісваюць: ЛД_{50/30} або ЛД_{50/60}. У радыебіялагічных эксперыментах строгае колькаснае вызначэнне радыяцыйнага эфекту абавязковае, бо ў адваротным выпадку ў розных спецыялістаў атрымаюцца розныя вынікі, якія нельга ні супаставіць, ні паўтарыць.

Вельмі важны вывад, які можна зрабіць з доследаў, заключаецца ў тым, што розныя выпраменьванні нават пры аднолькавай паглынутай дозе D_n выклікаюць розны радыебіялагічны эфект. β -Часціцы і γ -кванты пашкоджваюць прыкладна аднолькава. У той жа час моцнаіанізуючыя α -часціцы на кароткім участку прабегу выклікаюць вялікія біялагічныя разбурэнні.

Якасць выпраменьвання ўлічваюць з дапамогай спецыяльнага каэфіцыента K , параўноўваючы яго радыебіялагічнае дзеянне з дзеяннем рэнтгенаўскага выпраменьвання з максімальнай энергіяй 200 кэВ. Безумоўна, біялагічныя вынікі апраменьвання моцна залежаць і ад энергіі. Было б вельмі нязручна ўлічваць усю бясконцую разнастайнасць каэфіцыентаў K , таму іх значэнні акругляюць. Лічыцца, што α -часціцы маюць $K = 20$, гэта значыць яны прыкладна ў 20 разоў больш небяспечныя для жывой прыроды,

чым β -часціцы або γ -кванты, для якіх K прыняты роўным 1.

Доза, якая выклікае аднолькавы радыебіялагічны эфект, незалежна ад віду іанізуючага выпраменьвання, называецца *эквівалентнай*. Яна вымяраецца ў *зівертах* (Зв) і звязана з паглынутай дозай D_n суадносінамі:

$$D_e (\text{Зв}) = K \cdot D_n (\text{Гр})$$

Шырока прымяняюцца вытворныя адзінкі: у тысячу разоў меншая — мілізіверт (мЗв), у мільён разоў меншая — мікразіверт (мкЗв).

Другі важнейшы эксперыментальны вынік радыебіялогіі сцвярджае, што апраменьванне для простых арганізмаў менш згубнае, чым для складаных. Для прыкладу прывядзём табліцу паўлятальнай дозы LD_{50} для некалькіх біялагічных відаў (паколькі працягласць жыццёвага цыкла ў іх моцна адрозніваецца, мы не называем час назірання гібелі, аднак ён прыкладна адпавядае $LD_{50/30}$ для чалавечага арганізма):

Табліца 3

Арганізм	LD_{50} , Зв
Вірусы	10 000
Бактэрыі	2000
Імхі, лішайнікі	500—5000
Насякомыя	500
Лісцевыя дрэвы	50—350
Хвойныя дрэвы	10—20
Рыбы	7—15
Птушкі (куры)	6—8
Трус	8
Малпа	5
Чалавек	3,5

Гэтыя здзіўляючыя вынікі патрабавалі тлумачэння, і вучоныя правялі мноства найскладанейшых эксперыментаў, перш чым атрымалі патрэбныя адказы.

Практыкаванне

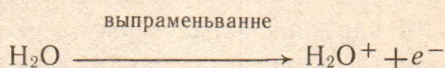
Якая паглынутая энергія ў чалавечым целе (маса — 70 кг) для $LD_{50/30}$ пры апраменьванні γ -квантамі? пры α -апраменьванні?

4. СТАДЫІ РАДЫЕБІЯЛАГІЧНАГА ДЗЕЯННЯ

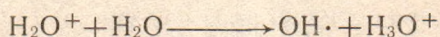
Іанізуючая радыяцыя, як мы пераканаліся, перадае біялагічнаму аб'екту так мала энергіі, што становіцца дзіўна, да якіх вялікіх біялагічных вынікаў гэта прыводзіць. Нават пры смяротнай дозе радыяцыі чалавечы арганізм награвяецца ўсяго на сотыя доли градуса! Прычына такой неадпаведнасці — у механізме размену паглынутае энергіі іанізуючых выпраменьванняў. Прасочым, як гэта адбываецца.

Першапачаткова ўзаемадзеянне выпраменьванняў з жывой тканкай адбываецца гэтак жа, як і з любым іншым рэчывам. У рэшце рэшт высокаэнергетычны квант або часціца знікаюць, утвараючы іоны. Чым большая перададзеная рэчыву энергія, тым больш узнікае іонаў. Аднак прасторавае размеркаванне іанізацыі залежыць ад віду радыяцыі: β -часціцы, у залежнасці ад энергіі ў біялагічным рэчыве, паспяваюць «прабегчы» ад некалькіх міліметраў да прыкладна аднаго сантыметра, і іоны ўтвараюцца ўздоўж іх трэкаў; пранікаючае γ -выпраменьванне спачатку ўтварае фота- або комптанаўскія электроны, якія разлятаюцца ў розных напрамках, так што іоны ўзнікаюць у вялікім аб'ёме; α -часціцы ствараюць велізарную колькасць іонаў на вельмі кароткім шляху прабегу — усяго ў некалькі дзесяткаў мікрон.

Замест жывога рэчыва радыебіёлагі часта выкарыстоўваюць звычайную дыстыляваную ваду, біялагічная ж тканка больш чым на 70 % складаецца з вады. Калі іанізуючая часціца праходзіць праз малекулу вады, узнікаюць іоны:

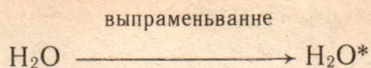


Што адбываецца далей? Іон H_2O^+ узаемадзейнічае з бліжэйшай малекулай вады, утвараючы вельмі актыўны свабодны радыкал $\text{OH}\cdot$:

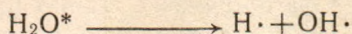


У гэтага радыкала ёсць адзін няспараны электрон, і ён імкнецца нейтралізаваць яго ва ўзаемадзеянні з суседнімі малекуламі, уносячы беспарадак у хімічныя сувязі біялагічнага асяроддзя. Адмоўныя іоны (электроны e^-), у сваю чаргу, парушаюць стабільны біяхімічны парадак, далучаючыся да малекул і змяняючы характар іх узаемадзеяння.

Пры праходжанні часціц, акрамя іанізацыі, адбываецца ўзбуджэнне малекул вады, якія набываюць лішкавую энергію:



Узбуджаная малекула развальваецца на два радыкалы:



Такім чынам, у выніку іанізацыі і ўзбуджэння ў вадзе ўтвараюцца, па крайняй меры, тры хімічна вельмі актыўныя агенты: e^- , $\text{OH}\cdot$ і $\text{H}\cdot$ з верагоднасцямі 45 %, 45 % і 10 %. Акрамя таго, узнікаюць пераксід вадароду H_2O_2 і многія іншыя няўстойлівыя рэчывы. Усе яны ўздзейнічаюць на малекулы ў клетках, выклікаючы шматлікія біялагічныя парушэнні. Так запускаецца механізм пашкоджанняў, які працягвае развівацца і ў рэшце рэшт прыводзіць да бачнага радыяцыйнага эфекту — прыгнятання функцый арганізма, а часам і яго гібелі.

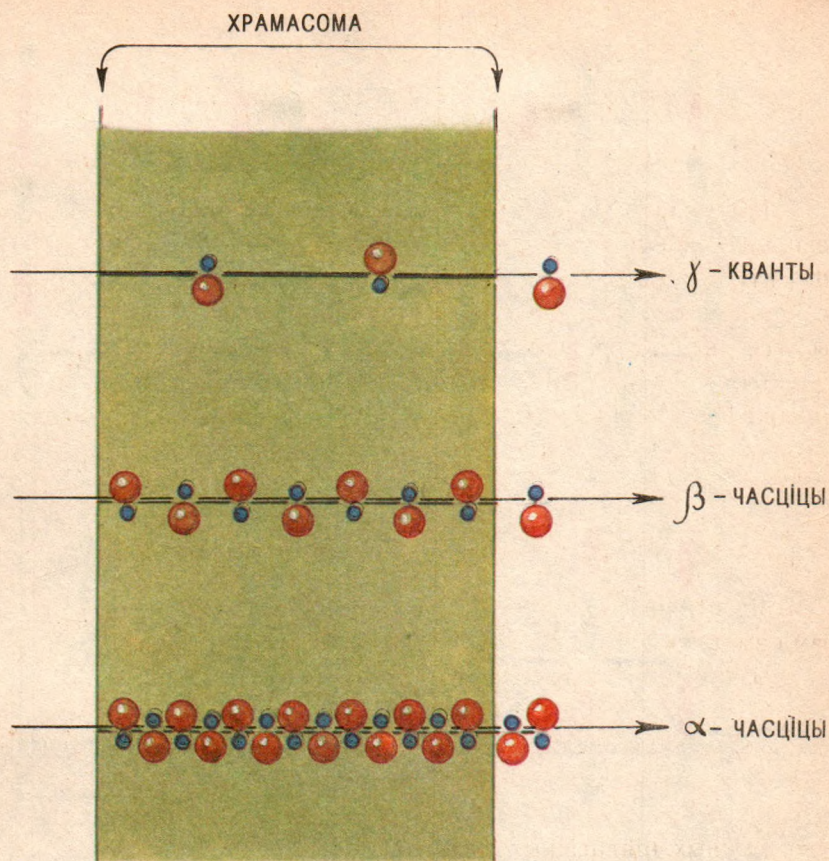
5. РАДЫЯЦЫЙНАЕ ПАШКОДЖАННЕ КЛЕТАЧНЫХ СТРУКТУР

З біялогіі мы ведаем, што ў кожнай клетцы чалавечага арганізма змяшчаецца 23 пары храмасом, 22 з якіх агульныя, а апошняя вызначае мужчынскі (XY) або жаночы (XX) пол чалавека. У асноўным храмасомы змяшчаюць велізарныя малекулы дэзоксірыбануклеінавай кіслаты (ДНК) і бялкі. У асобных участках ДНК — генах — закадзіравана ўся інфармацыя аб відавых і індывідуальных асаблівасцях арганізма, абмене рэчываў і іншых жыццёва важных біялагічных працэсах.

Храмосомы — важнейшыя біялагічныя структуры. Можна разбурыць мітахондрыі, адрэзаць большую частку цытаплазмы, і ўсё-такі клетка адновіцца і застанецца жыць. Аднак страта або нават змяненне ўсяго толькі адной храмасомы звычайна прыводзіць да гібелі клеткі.

На малюнку 45 схематычна паказана, як змяняецца шчыльнасць іонаў пры праходжанні праз рэчыва храмасомы іанізуючых выпраменьванняў розных відаў. Прапарцыянальна змяняецца і колькасць радыкалаў, якія ўтвараюцца ўздоўж іоннага следу. Чым больш пар іонаў (радыкалаў), тым большая верагоднасць пашкоджання і нават разрыву храмасомнай ніці. Часцей за ўсё разрывы адбываюцца пры α -апраменьванні, хаця яны магчымыя і ў іншых выпадках. Павелічэнне дозы прыводзіць да таго, што расце верагоднасць разрываў у некалькіх месцах, так што ў ядры клеткі назапашваюцца кавалкі храмасом (фрагменты).

Разарваныя канцы і цэлыя фрагменты ў далейшым злучаюцца

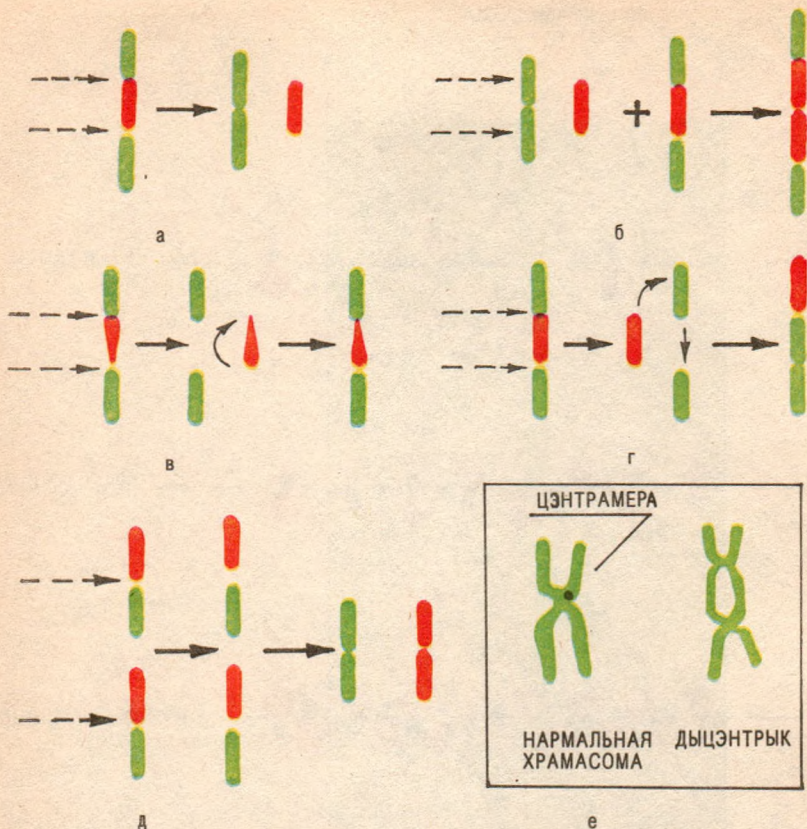


Мал. 45. Праходжанне іанізуючых выпраменьванняў праз участак храмасомы.

ў новых спалучэннях, так што закадзіраваная ў генах інфармацыя змяняецца або траціцца зусім. Такія ненармальныя змяненні называюцца *храмасомнымі аберцыямі*.

Класіфікацыя ўсіх магчымых храмасомных абераций складаная. На малюнку 46 паказана некалькі прыкладаў тыповых абераций: дзелецы, дуплікацыі, інверсіі, транслакацыі, кросінгавер. Многія з іх пры вялікім павелічэнні пад мікраскопам можна заўважыць. Так, пры пераапраменьванні чалавека ў клетках яго крыві выяўляюцца так званыя *дыцэнтрыкі* — храмасомы, у якіх замест адной перацяжкі (цэнтрамеры) іх становіцца дзве, як паказана на малюнку 46, e.

Па меры назапашвання дозы апраменьвання назапашваецца і колькасць дыцэнтрыкаў па лінейна-квадратычнаму закону (мал. 47).



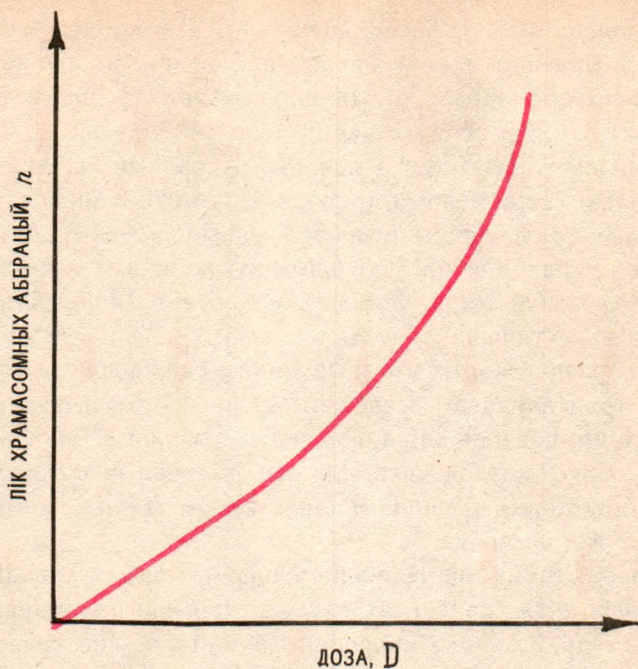
Мал. 46. Храмасомныя аберацыі: а — выпаданне фрагмента храмасомы — дэлецыя; б — дуплікацыя — падваенне фрагментаў з аднолькавай генетычнай інфармацыяй; в — інверсія — фрагмент павернуты на 180°, застаючыся ў той жа храмасоме; г — транслакацыя — перанясенне фрагмента ў іншае месца, часта на іншую храмасому; д — кросінгавер — абмен фрагментамі паміж храмасомамі; е — выгляд пад мікраскопам нармальнай храмасомы і храмасомы, у якой узніклі аберацыі.

$$n = aD + bD^2$$

Гэта заканамернасць выкарыстоўваецца ў адным з метадаў вызначэння атрыманай дозы — у метадазе храмасомных аберацый, у якім колькасць дыцэнтрыкаў падлічваецца пад мікраскопам.

Клеткі з храмасомнымі аберацыямі проста гінюць, трацяць нармальныя ўласцівасці або набываюць уласцівасць нястрымнага дзялення, даючы пачатак раковым пухлінам. У любым выпадку гэта прыводзіць да аслаблення арганізма, хвароб і заўчаснай смерці тым хутчэй, чым большая доза апраменьвання.

Дарослы арганізм змяшчае вельмі многа клетак, таму страта часткі з іх не такая небяспечная, тым больш што пры не вельмі



Мал. 47. Нарастанне радыяцыйных эфектаў пры павелічэнні дозы апраменьвання.

вялікіх дозах магчыма аднаўленне. Значна больш небяспечнае апраменьванне палавых клетак, таму што ў гэтым выпадку зменная генетычная інфармацыя можа перадавацца па спадчыне.

Храмасомныя змяненні, якія перадаюцца па спадчыне, называюцца *мутацыямі*. Мутацыі выклікаюцца не толькі іанізуючымі выпраменьваннямі, але і некаторымі шкоднымі хімічнымі рэчывамі пад уплывам неспрыяльных умоў навакольнага асяроддзя. Яны магчымыя пры любой дозе, нават такой малой, якая існуе пры натуральным радыяцыйным фоне касмічнага выпраменьвання і радыеізатопаў, рассеяных у зямной кары (некалькі мілізівертаў у год). Гэта бачна з малюнка 47, на якім крывая радыяцыйных эфектаў пачынаецца ў пункце перасячэння каардынат, пацвярджаючы *беспарогавы* характар радыебіялагічнага дзеяння выпраменьванняў. Пры павышэнні фону, напрыклад, у час радыяцыйных аварый разам з дозай апраменьвання расце і колькасць мутацый. Вядома, што іх лік падвойваецца ў клетках чалавечага арганізма на кожныя 0,1—1 Зв (назваць дакладней дозу падваення для чалавека пакуль цяжка, паколькі такія эксперыменты на людзях, безумоўна, не праводзяцца).

Большасць мутацый несумяшчальныя з жыццём, гэта значыць гібель адбываецца адразу пасля апладнення, на ранняй стадыі цяжарнасці або адразу пасля нараджэння. У іншых выпадках пашкоджаны храмасомны набор палавых клетак бацькоў дае непаўнацэннае патомства з адзнакамі спадчынных хвароб.

Паколькі ўсе абменныя працэсы ў арганізме знаходзяцца пад генетычным кантролем, многія спадчынныя хваробы, абумоўленыя мутацыямі, праяўляюцца ў дрэнным вугляводным абмене (напрыклад, цукровы дыябет), абмене амінакіслот (напрыклад, альбінізм), абмене тлушчаў і г. д.

Сярод разнастайных мутацый у чалавека часцей за ўсё сустракаюцца транслакацыі і дзелецыі. Мутацыі ў буйных храмасомах звычайна прыводзяць да ранняй гібелі, у меншых (з вялікім нумарам) — да жыццяздольнага, але ненармальна развітога патомства. Вядомы прыклад спадчыннай хваробы Даўна — вынік мутацый у 21-й храмасоме.

Хвароба Даўна праяўляецца ў разумовай адсталасці. У такіх дзяцей нізкі рост, маленькая галава з плоскай патыліцай і малавыразны твар. У хворых хваробай Даўна выяўлены транслакацыі, гэта значыць перанос участка адной храмасомы на другую. Калі па спадчыне перадаюцца дабавачныя кускі храмасомы, развіваецца выроўліваецца. Калі ж ад аднаго з бацькоў перадаецца храмасома з недахопам фрагмента, плод звычайна памірае. Дзелецыя часткі 21-й храмасомы прыводзіць таксама да ракавага захворвання касцявой тканкі (міэлоідны лейкоз).

Дзеці з хваробай Даўна і некаторымі іншымі спадчыннымі хваробамі часцей нараджаюцца ад немаладых маці. Лічыцца, што ў палавых клетках мацярынскага арганізма з узростам назапашваюцца мутацыі галоўным чынам з прычыны больш працяглага ўздзеяння радыяцыйнага фону і неспрыяльных фактараў забруджанага навакольнага асяроддзя.

6. РАДЫЕАДЧУВАЛЬНАСЦЬ ТКАНАК І ОРГАНАУ

Паглядзім, што адбываецца ў арганізме пасля апраменьвання. Мы ўжо ведаем, што ўзаемадзеянне іанізуючых выпраменьванняў з жывой тканкай выклікае іанізацыю, з'яўленне свабодных радыкалаў, якія ўздзейнічаюць на храмасомны апарат клетак, што прыводзіць да гібелі клетак або змянення іх нармальнай работы.

Чым большая доза, тым больш загінуўшых клетак і тым горш выконвае сваю функцыю апраменены орган. У арганізме ўзае-

мадзеейне ўсіх органаў і тканак строга ўзгоднена. Калі горш працуе адзін з іх, гэта адбіваецца на іншых, якія вымушаны «працаваць» з перанаяпружаннем або, у сваю чаргу, пастаўляюць недастатковую колькасць рэчыва ў астатнія ўчасткі цела.

Хаця, безумоўна, «лішніх» органаў няма, некаторыя з іх для нармальнага развіцця выконваюць больш важную ролю. Лейкацыты крыві (іх, у асноўным, выпрацоўвае чырвоны касцявы мозг) ахоўваюць арганізм ад розных інфекцый; без іх немагчыма імунная незалежнасць у навакольным асяроддзі, якое кішыць вірусамі, бактэрыямі і іншымі небяспечнымі біялагічнымі аб'ектамі. Без гармонаў, якіх выпрацоўваюць палавыя, шчытападобная і іншыя залозы, узнікаюць разнастайныя выродлівасці, што часта прыводзяць да гібелі.

З другога боку, для таго каб «выключыць» органы, неабходныя розныя пашкоджаючыя «намаганні». Так, касцявы мозг страчвае здольнасць выпрацоўваць лейкацыты пры адносна малых эквівалентных дозах. Небяспечнае таксама апраменьванне палавых залоз, тым больш што гэта прыводзіць да спадчынных (генетычных) хвароб. У той жа час нервовая тканка да іанізуючых выпраменьванняў даволі ўстойлівая, і для таго каб яе вывесці са строю, патрэбны значныя дозы.

Улік рознай небяспекі апраменьвання органаў і тканак робяць з дапамогай **тканкавых ўзважваючых каэфіцыентаў (ТК)**:

Табліца 4

Тканкавыя ўзважваючыя каэфіцыенты (ТК) для арганізма чалавека			
0,01	0,05	0,12	0,20
Паверхня косці Скура	Мачавы пузыр Грудная залоза Печань Стрававод Шчытападобная залоза Астатнія органы і тканкі	Тоўстая кішка Лёгкія Касцявы мозг Страўнік	Палавыя залозы (ганады)
Усё цела — 1,0			

Тканкавыя каэфіцыенты дазваляюць супаставіць нераўнамернае апраменьванне асобных органаў з радыяцыйнымі вынікамі для ўсяго арганізма. Напрыклад, лічыцца, што апраменьванне касцявога мозгу дозай 1 Зв выклікае такі ж неспрыяльны зыход, як і апраменьванне ўсяго цела дозай 0,12 Зв.

На самай справе, да раўнамернага апраменьвання прыводзіць толькі γ -фон навакольнай мясцовасці (натуральны або ў выніку радыяцыйнай аварыі). У большасці іншых выпадкаў доза, атрыманая ўчасткамі цела, розная. Напрыклад, радыеактыўнасць, якая паступае з ежай, выбіральна назапашваецца ў органах: ёд — у шчытападобнай залозе, стронцый — у касцях і г. д. Акрамя таго, у медыцынскіх працэдурах для лячэння апраменьваюць пашкоджаныя хваробай участкі органаў (так, напрыклад, лечаць ракавыя пухліны).

Такім чынам, ведаючы тканкавыя каэфіцыенты і адпаведныя тканкі, што падвергліся апраменьванню дадзенай эквівалентнай дозай $D_{э}$, можна разлічыць *эфектыўную дозу (эфектанс) $D_{эф}$* , якая абазначае агульны радыяцыйны ўрон для ўсяго арганізма з улікам *радыеадчувальнасці* апрамененых у ім тканак і органаў:

$$D_{эф} = TK_1 \cdot D_{э1} + TK_2 \cdot D_{э2} + \dots = \sum TK_i D_{эi}$$

Эфектыўная доза, як і эквівалентная, вымяраецца ў зівертах або ў вытворных ад яго адзінках.

Такім чынам, мы ўжо ведаем некалькі паняццяў дозы. Экспазіцыйная доза апісвае радыяцыйны гама-фон у паветры навакольнай мясцовасці. Паглынутая доза гаворыць аб колькасці паглынутай энергіі іанізуючага выпраменьвання ў аб'екце ад усіх відаў выпраменьванняў (у тым ліку ў жывым рэчыве). Эквівалентная доза ўлічвае рознае пашкоджваючае дзеянне выпраменьванняў з прычыны рознай іанізуючай здольнасці. Аднак найбольш поўна небяспека іанізуючага апраменьвання чалавека апісваецца велічынёй атрыманай эфектыўнай дозы, паколькі ў дадзеным выпадку адначасова ўлічваецца ўсе галоўныя фактары: паглынутая энергія, якасць выпраменьвання і радыеадчувальнасць апрамененых біялагічных тканак.

7. ПРАМЯНЁВАЯ ХВАРОБА

Пасля атамнай бамбардзіроўкі японскіх гарадоў Хірасімы і Нагасакі ў многіх, хто перажыў выбух, паявіліся адзнакі тады мала вядомай хваробы, якая працякала крайне цяжка і часта заканчвалася трагічна. Хвароба, відавочна, была выклікана іанізуючай радыяцыяй і атрымала назву *прамянёвай*, або *прамянёвага сіндрому*.

Цяпер мы ведаем, што эфектыўная доза ў 3,5 Зв здольная выклікаць гібель паловы апрамененых людзей на працягу месяца

(ЛД_{50/30}) у выніку прамянёвай хваробы. Такая доза, безумоўна, вельмі вялікая і магчымая паблізу ядзерных выбухаў або пры буйных радыяцыйных аварыях. Аднак другая палова апрамененых жыве намнога даўжэй, а самыя моцныя пераносяць хваробу і нават вяртаюцца да працоўнай дзейнасці.

Першы вывад, які зрабілі ўрачы, што ратавалі жыхароў японскіх гарадоў пасля атамнай бамбардзіроўкі, заключаўся ў тым, што іанізуючая радыяцыя не забівае імгненна. Нават пры безумоўна смяротнай дозе, большай за 10 Зв, чалавек жыве некалькі дзён. Такім чынам, спускавы механізм, які запускаяецца на этапе ўзаемадзеяння выпраменьвання з тканкай і ўтварэння свабодных радыкалаў, павінен прывесці да назапашання неспрыяльных біялагічных змяненняў, несумяшчальных з жыццём. З другога боку, арганізм — вельмі ўстойлівая сістэма. У ім працякаюць адваротныя працэсы аднаўлення клетак. Зыход барацьбы разбуральных і аднаўленчых фактараў выражаецца ў ходзе прамянёвай хваробы і залежыць як ад атрыманай дозы, так і ад індывідуальнай супраціўляльнасці арганізма, а таксама эфектыўнасці лячэння.

Прамянёвая хвароба праяўляецца ў лёгкай форме пры дозах 1—2,5 Зв; сярэдняя цяжкасць захворвання ўзнікае пры 2,5—4 Зв, цяжкая — пры 4—6 Зв, крайне цяжкая, якая, як правіла, заканчваецца смерцю, — звыш 10 Зв.

У цячэнні вострай прамянёвай хваробы вылучаюць 4 перыяды:

1. Перыяд агульнай першаснай рэакцыі. Адрознавацца ад апраменьвання ўзнікае ўзбуджэнне, змяняецца састаў крыві. Паяўляецца млосць і рвота, слабасць, галаўны боль, галавакружэнне, санліваць. Часам узнікаюць болі ў сэрцы і страўніку.

2. Скрыты перыяд. Пры прамянёвай хваробе 1-й і 2-й ступеней у залежнасці ад дозы ён працягваецца 2—5 тыдняў. Пры бачным клінічным добрым выглядзе нарастае дрэннае адчуванне: усё горш функцыяніруюць касцявы мозг і селязёнка — перастаюць выпрацоўваць спелыя клеткі крыві, пашкодзваецца кішэчнік, пачынаюць выпадаць валасы.

3. Разгар хваробы. Самаадчуванне хворага рэзка пагаршаецца. У сувязі з малакроўем назіраюцца слабасць, абываваць да навакольнага, рэзка паніжаецца супраціўляльнасць да інфекцый. Пры цяжкіх формах хваробы запаліваецца слізистая страўніка і кішэчніка, пачынаецца нястрымная рвота, паносы, часам з кроўю. Рэзка павышана тэмпература, паніжаецца артырыяльны ціск, пульс пачашчаецца. Гэта — крытычная фаза хваробы, якая можа закончыцца смерцю.

4. Аднаўленне. Гэта працяглы перыяд (3—6 месяцаў). За гэты час чалавек паступова выздараўлівае. К канцу аднаўлення пачынаецца рост валасоў, усе сістэмы арганізма прыходзяць у норму. Тым не менш тыя, хто перанёс прамянёвую хваробу, маюць аслабленую імунную сістэму, часцей хварэюць. У іх таксама магчымы аддаленыя вынікі: страта зроку, схільнасць да ракавых захворванняў.

З прыведзенага апісання бачна, што прамянёвая хвароба — гэта комплекс захворванняў, кожнае з якіх можа быць выклікана іншымі (не радыяцыйнымі) прычынамі. Напрыклад, ірвоты ўзнікаюць і пры звычайных атручэннях. Аднак увесь комплекс запускаяцца першаснымі змяненнямі на малекулярным узроўні. Адну з ключавых роляў у цяжэнні хваробы адыгрывае пашкоджанне крывятворных органаў і, у прыватнасці, вельмі адчувальнага да радыяцыі касцявога мозгу, у якім прыгнятаецца выпрацоўка важнейшага агента імуннай аховы — лейкоцытаў. У выніку трэба чакаць, што апраменены арганізм акажацца безабаронным. У рэшце рэшт гібель у канцы прамянёвай хваробы адбываецца ад якой-небудзь інфекцыі, у тым ліку зусім бяскрыўднай пры звычайных умовах.

Здавалася б, ведаючы прычыну, можна выкарыстоўваць надзейны спосаб лячэння: перасадзіць пацярпеўшаму касцявы мозг здоровага чалавека, здольны выпрацоўваць паўнацэнныя лейкоцыты. Хвораму прамянёвай хваробай спачатку гэта сапраўды дапамагае, яго ж імунная сістэма амаль не дзейнічае. Аднак, па меры таго як уведзены мозг донара прыжываецца і пачынае выпрацоўваць лейкоцыты, адноўлены імунітэт не прымае чужародныя клеткі і арганізм зноў становіцца бездапаможным. Такім чынам, перасадка касцявога мозгу далёка не заўсёды прыносіць жаданы эфект, за выключэннем выпадкаў, калі перасаджваюцца ўласныя здаровыя клеткі касцявога мозгу (часам касманаўты, адпраўляючыся ў працяглы палёт, калі верагоднасць пераапраменьвання вялікая, пакідаюць на зямлі спецыяльна адабраную порцыю касцявога мозгу, якая захоўваецца да іх вяртання) або ад аднаіццавага блізняці, хаця далёка не кожнаму пашанцавала мець такога брата ці сястру.

Такім чынам, ведаючы прычыну і вынікі хваробы, можна пабудаваць стратэгію лячэння. Відавочна, неабходна зменшыць верагоднасць інфекцыйнага заражэння (старанны душ, прамыванне страўніка і кішэчніка, поўная змена бялізны, змяшчэнне ў стэрыльныя ўмовы). Затым неабходна імкнуцца да аднаўлення кры-

вятворнай сістэмы. Часам гэтаму дапамагаюць пераліванні крыві, перасадка касцявога мозгу. Апрамененым хворым назначаюць таксама супрацінфекцыйныя і імунастимулюючыя прэпараты, агульнаўмацоўваючыя рэчывы.

8. СТАХАСТЫЧНЫЯ ЭФЕКТЫ

Прамянёвая хвароба добра вывучана на людзях, якія пацярпелі пры атамнай бамбардзіроўцы ў Японіі. Акрамя таго, вядомы выпадкі пераапраменьвання пры радыяцыйных аварыях на ваенных ядзерных прадпрыемствах, на навукова-даследчых атамных рэактарах (такі выпадак адбыўся ў Югаславіі ў 1959 г.), на атамных электрастанцыях (у прыватнасці, пры тушэнні пажару ў Чарнобылі), пры неасцярожным абыходжанні з высокаактыўнымі радыеізатопнымі крыніцамі (напрыклад, у 1987 г. у Бразіліі). Ва ўсіх гэтых выпадках пацярпеўшыя атрымалі вельмі высокія дозы апраменьвання, і ў іх назіраліся ўсе адзнакі прамянёвай хваробы, цяжэнне якой залежала ад дозы.

З другога боку, насельніцтва зямнога шара на працягу многіх тысячагоддзяў жыло ва ўмовах натуральнага радыяцыйнага фону, велічыня якога ў сярэднім складае ўсяго 2,4 мЗв/год. З прычыны развіцця ізатопнай прамысловасці ў апошнія дзесяцігоддзі выкарыстанне выпраменьванняў пастаянна пашыраецца ва ўсіх галінах чалавечай дзейнасці. Усё часцей прамянёвыя метады прымяняюцца ў медыцынскай дыягностыцы і для лячэння. Амаль паўтара дзесятка гадоў у атмасферы Зямлі працягвалася выпрабаванне ядзернай зброі, якое вызваліла велізарную колькасць радыеактыўных рэчываў. Адбылося некалькі буйных аварыяў на атамных рэактарах. Усё гэта павялічыла радыяцыйны фон, у параўнанні з натуральным, і патрэбавала вывучыць уплыў павышаных доз на бяспеку і здароўе чалавека.

На самай справе: калі натуральны фон непазбежны, а дозы вышэйшыя за 1 Зв выклікаюць прамянёвую хваробу, то як адбіваюцца (і ці адбіваюцца наогул!) так званыя малыя дозы ў прамежку ад некалькіх мілізівертаў да 1 Зв, калі іх небяспечны ўплыў становіцца відавочным?

Гэта пытанне даўно перастала быць чыста навуковым, таму што лік людзей, якія жывуць вакол выпрабавальных палігонаў і ў забруджаных радыеактыўнымі рэчывамі абласцях, ужо вымяраецца мільёнамі. Акрамя таго, нягледзячы на забарону ядзерных выпрабаванняў і ўзмацненне мер аховы атамных рэактараў, вера-

годнасць радыяцыйных аварый у будучым поўнасьцю выключыць нельга. Ды і дозы, атрыманыя пры медыцынскіх працэдурах і ад глабальнага павышэння радыяцыйнага фону, датычацца ўсіх жыхароў нашай планеты.

Значыць, наколькі можна павысіць дозу ў параўнанні з натуральным фонам, каб гэта не выклікала непажаданых вынікаў? І ці з'яўляецца сам натуральны радыяцыйны фон абсалютна бяспечным? Мы ж ужо ведаем, што ніякага парога для храмасомных аберацый не існуе. Іншымі словамі, якая мяжа дапушчальнага апраменьвання і ці існуе такая мяжа для чалавека?

Выявіць радыяцыйныя вынікі апраменьвання малымі дозамі, у тым ліку пры працяглым (хранічным) апраменьванні, вельмі цяжка, паколькі прыходзіцца вывучаць павелічэнне ліку не нейкіх асаблівых, а звычайных хвароб, якое можа адбывацца не толькі з прычыны радыяцыі, але і ў выніку хімічнага забруджвання навакольнага асяроддзя, недабраякаснага харчавання, пагаршэння экалогіі.

Калі прамянёвая хвароба наступае хутка і яе сувязь з апраменьваннем відавочная, то вынікі малых доз могуць праявіцца праз вельмі працяглы час. Прыходзіцца многа гадоў назіраць велізарную колькасць апрамененых і неапрамененых людзей, каб вызначыць лішак захворванняў з прычыны радыяцыі. Да таго ж адна і тая ж доза апраменьвання ў адных людзей (звычайна аслабленых, схільных да хвароб) можа выклікаць цяжкія вынікі, у той час як другія (маладыя людзі працаздольнага ўзросту) пераносяць яе лёгка. Прыкладам можа служыць ЛД₅₀ = 3,5 Зв — згубная для паловы апрамененых (без спецыяльнага медыцынскага лячэння) і цярпімая (якую можна перанесці) для астатніх 50 %.

Такім чынам, радыяцыйныя вынікі малых доз праяўляюцца як **верагоднасныя**, або **стахастычныя**, **эфекты**, у адрозненне ад прамянёвай хваробы, якая наступае пры вялікай дозе абавязкова. Задача заключаецца ва ўстанаўленні верагоднасці стахастычных эфектаў пры дадзенай эфектыўнай дозе, або адпаведных **каэфіцыентаў рызыкі**.

Каэфіцыент рызыкі можна разумець як верагоднасць некаторага захворвання (або смерці) апрамененага чалавека на адзінку атрыманай дозы. Яго можна таксама выразіць як лік неспрыяльных радыяцыйных зыходаў у групе апрамененых людзей, аднесены да ліку людзей, якія атрымалі дадзеную дозу.

Увядзём паняцце **калектыўнай дозы** як сумарную дозу апраме-

нених людзей. Калектыўная доза вымяраецца ў чалавека-зівертах (чал·Зв). З аднаго боку, гэта велічыня добра апісвае маштаб радыяцыйнай аварыі або іншага бедства, калі прасумаваны дозы ўсіх пацярпеўшых. З другога — яна дазваляе прадказаць лік неспрыяльных стахастычных эфектаў:

Лік неспрыяльных зыходаў = Каэфіцыент рызыкі × Калектыўная доза

Каэфіцыенты рызыкі вызначаны, галоўным чынам, на падставе шматгадовых назіранняў ахвяр атамнай бамбардзіроўкі ў Японіі. Надзейна вызначана, што іанізуючыя выпраменьванні выклікаюць лішкавы лік ракавых захворванняў, якія ўзнікаюць праз некалькі гадоў пасля атрымання дозы. Раней за іншыя паяўляюцца лейкозы (белакроўе, пашкоджанне крывятворных органаў: касцявога мозгу, лімфатычных вузлоў, селязёнка). У залежнасці ад узросту апраменьенага максімальная верагоднасць захварэць лейкеміяй бывае праз 5—25 гадоў пасля апраменьвання. Яшчэ пазней узнікаюць ракавыя хваробы іншых органаў. Каэфіцыент радыяцыйнай рызыкі рака з лятальным (смяротным) зыходам роўны 0,05/Зв, а з улікам іншых форм ракавых захворванняў — 0,062/Зв.

Рызыка перадаваемых па спадчыне непажаданых генетычных вынікаў апраменьвання складае, па даных даследавання, 0,01/Зв. Такім чынам, поўны радыяцыйны ўрон, які ўдалося надзейна вызначыць, роўны $0,062 + 0,01 = 0,072/Зв$.

Паўторам, што атрыманыя каэфіцыенты заснаваны на даных масавага апраменьвання жыхароў Хірасімы і Нагасакі. З моманту бамбардзіроўкі (1945 г.) прайшло многа гадоў — тэрмін дастатковы для назірання аддаленых стахастычных эфектаў, хаця спадчынныя змяненні будуць яшчэ праяўляцца ў будучых пакаленнях. Добрае медыцынскае абслугоўванне, разнастайнае вітамінізаванае харчаванне і здаровы спосаб жыцця ў Японіі не дазволілі выявіць іншыя вынікі радыяцыі. Трэба сказаць, што ў дадзеным выпадку было разовае апраменьванне. Справядліва спытаць: ці можна прымяняць значэнні каэфіцыентаў рызыкі для іншых выпадкаў, напрыклад у адносінах да пацярпеўшых у Чарнобыльскай аварыі?

Галоўнае адрозненне радыяцыйных аварыяў на атамных электрастанцыях заключаецца ў тым, што жыхары велізарных тэрыторый на працягу многіх гадоў падвяргаюцца ўздзеянню *пастаяннага павышанага радыяцыйнага фону і ўнутранага апраменьвання* ад забруджаных радыеактыўнасцю прадуктаў харчавання. Акрамя Чарнобыльскай, на тэрыторыі Савецкага Саюза з 1952 да пачатку 60-х гадоў на Паўднёвым Урале адбылася серыя буйных

аварый, ад якіх пацярпелі сотні тысяч людзей. Гэтыя радыяцыйныя вынікі, безумоўна, моцна адрозніваюцца ад атамнай бамбардзіроўкі, але іх вывучэнне толькі пачата.

Тэарэтычная радыебіялогія і эксперыменты на апраменьеных жывёлах падказваюць, на якія стахастычныя эфекты трэба звярнуць асаблівую ўвагу, якія вынікі, акрамя лішкавага рака і спадчынных захворванняў, можна чакаць у пацярпеўшых раёнах.

Ад пераапраменьвання пагаршаецца зрок. Вядома, што пасля атрымання дозы радыяцыі звычайна праз некалькі гадоў паяўляюцца катаракты, якія прыводзяць да поўнай слепаты.

Вельмі адчувальныя да выпраменьвання клеткі на стадыі дзялення. У момант дзялення максімальна актывізуюцца ўсе біяхімічныя працэсы, інтэнсіўна ідзе абмен бялкамі і іншымі важнымі прадуктамі жыццядзейнасці, неабходнымі для падваення храмасом. Менавіта ў гэты момант храмасомныя змяненні здольныя забіць клетку. Дарэчы, асобая радыеадчувальнасць ракавых клетак, у якіх адбываецца нястрымны працэс дзялення, выкарыстоўваецца для прамянёвага лячэння пухлін. Адсюль вынікае, што радыяцыя найбольш згубна дзейнічае на дзіцячы арганізм, які расце, і асабліва на плод цяжарнай жанчыны.

Мы ўжо гаварылі аб высокай радыеадчувальнасці крывятворных органаў. Паніжэнне лейкацытаў у крыві аслабляе імунную ахову, так што пасля апраменьвання можна чакаць большай колькасці звычайных інфекцыйных захворванняў.

З прычыны высокай радыеадчувальнасці залоз унутранай сакрэцыі апраменьены арганізм паніжае вытворчасць неабходных гармонаў, што прыводзіць да разнастайных парушэнняў жыццядзейнасці.

Хаця масавыя радыебіялагічныя даследаванні ў зонах радыяцыйных аварый толькі пачынаюцца, можна сцвярджаць, што **павышаныя дозы апраменьвання зніжаюць працягласць і якасць жыцця**, а таму непажаданыя. Існуе многа спосабаў знізіць індывідуальную і калектыўную дозы апраменьвання (перасяленне з пацярпеўшай зоны, чыстае харчаванне і г. д., аб чым мы ўжо гаварылі і паўтोरым яшчэ раз у самых старшых класах).

І нарэшце, адзначым важны радыебіялагічны вывад, зроблены пры доследах з апраменьенымі біялагічнымі малекуламі. Сапраўды, бяспечнага парога радыяцыйных эфектаў не існуе: змяненні ў генах храмасом магчымыя нават пры самых малых дозах. Такім чынам, можна гаварыць толькі аб разумным, дапушчальным узроўні дозы, неперавышэнне якога забяспечвае грамадства на

дадзеным этапе свайго развіцця, паколькі зніжэнне калектыўнай дозы патрабуе вялікіх матэрыяльных затрат.

У цяперашні час лічыцца, што перавышэнне радыяцыйнага фону, у параўнанні з натуральным, на 1 мЗв/год для насельніцтва вельмі непажаданае. Менавіта такая мяжа пераапраменьвання дапускаецца па рэкамендацыях вучоных на падставе назапашаных у свеце даных аб радыебіялагічным дзеянні іанізуючых выпраменьванняў. У той жа час мяжа дозы для прафесійных работнікаў, якія маюць справу з крыніцамі радыяцыі (работнікі атамных электрастанцый, урачы-радыёлагі і г. д.), вызначана ў 20 мЗв/год. Праўда, у дадзеным выпадку гаворка ідзе аб людзях, пераапраменьванні якіх непазбежнае. Але да такіх работ дапускаюцца толькі добра падрыхтаваныя спецыялісты пасля ўважлівага медыцынскага адбору. За іх здароўем пастаянна назіраюць урачы, а з мэтай памяншэння шкодных вынікаў прымаюцца разнастайныя ахоўныя меры.

Калі параўнаць рэкамендуемую мяжу дадатковай да натуральнага фону гадавой дозы (1 мЗв) з індыўдуальнымі дозамі, якія атрымліваюць людзі ў пацярпеўшых у выніку Чарнобыльскай аварыі населеных пунктах, то высветліцца, што ў большасці з іх гэта мяжа не перавышаецца. Хаця ёсць вёскі, асабліва на поўдні і паўночным усходзе Гомельскай вобласці, дзе дозы дасягаюць 2 і нават 3 мЗв у год. На першы погляд гэта здаецца дзіўным — аб маштабах чарнобыльскай катастрофы вядома ўсяму свету! Справа ў тым, што самыя вялікія дозы насельніцтва Беларусі атрымала ў першыя месяцы пасля аварыі за кошт радыеактыўных ізатопаў ёду і іншых кароткажывучых радыенуклідаў, радыеактыўнага пылу і забруджаных прадуктаў харчавання, адсутнасці мер аховы. Цяпер кароткажывучыя ізатопы распаліся, радыеактыўныя цэзій і стронцый заглыбіліся ў глебу, паявіліся прылады для кантролю харчовых прадуктаў, а з найбольш небяспечных раёнаў насельніцтва пераселена.

Было б добра перасяліць жыхароў з усіх пацярпеўшых вёсак, дзе дозы павышаны. Нядрэнна таксама жыць далей ад заводаў, якія з дымам выкідваюць шкодныя рэчывы, або проста закрыць гэтыя заводы. Але ж трэба і помніць, што чыстае паветра, здаровая экалогія вельмі дорага каштуюць. Можна, вядома, устанавіць вельмі жорсткія нормы забруджвання навакольнага асяроддзя, але калі эканоміка не дазваляе, хутчэй за ўсё гэта будзе прыгожая дэкларацыя, дасягнуць якой удасца пасля многіх гадоў настойлівай працы.

Аварыя на Чарнобыльскай атамнай электрастанцыі, якая адбылася ў 1986 г., закранула сотні тысяч людзей, што пражываюць на Украіне, у некалькіх абласцях Расіі і, галоўным чынам, у Беларусі, дзе радыяцыйны фон, у параўнанні з натуральным, павысіўся ў дзесяткі і сотні разоў. Гэты фон захаваецца на доўгія гады. Так, у чалавека не існуе органаў пачуццяў, якія папярэджвалі б аб небяспецы іанізуючых выпраменьванняў, але засцерагчы сябе і навакольных, а таксама сваіх патомкаў можна, калі ведаць, што такое радыяцыя, якія яе ўласцівасці і як яна ўздзейнічае на чалавечы арганізм.

Практыкаванне

У выніку радыяцыйнай аварыі жыхары пасёлка атрымалі калектыўную дозу 4000 чал·Зв. Разлічыце лішкавы лік выпадкаў радыяцыйнага рака. Разлічыце, колькі чакаецца спадчынных захворванняў у выніку апраменьвання.

РАШЭННЕ ЗАДАЧ У ПРАКТЫКАВАННЯХ ДА РАЗДЗЕЛА «ДЗЕЙННЕ РАДЫЯЦЫІ НА НАВАКОЛЬНАЕ АСЯРОДДЗЕ»

Да п. 1

1. Частату знойдзем з ураўнення (2):

$$\nu = \frac{E}{h} = \frac{6,61 \cdot 10^5 \text{эВ}}{4,14 \cdot 10^{-15} \text{эВ} \cdot \text{с}} = 1,6 \cdot 10^{20} \text{с}^{-1}$$

Даўжыня хвалі вызначаецца з ураўнення (1):

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ м/с}}{1,6 \cdot 10^{20} \text{ с}^{-1}} = 1,875 \cdot 10^{-12} \text{ м}$$

2. Атрымаем ураўненне:

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{hc}{E}$$

і падставім значэнні:

$$\lambda = \frac{4,14 \cdot 10^{-15} \text{эВ} \cdot \text{с} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}}{1 \cdot 10^6 \text{эВ}} = 1,242 \cdot 10^{-12} \text{ м}$$

3. З малюнка 43 бачна, што энергія светлавых фатонаў прыкладна 2 эВ. Такім чынам, энергія γ -квантаў у 661 000 эВ/2эВ, г. зн. прыкладна ў 330 000 разоў большая.

Да п. 2

1. Пры дадзенай дозе ў 1 кг цела паглынаецца, у адпаведнасці з азначэннем, 0,1 Дж энергіі. Усяго, такім чынам, паглынулася 0,1 Дж/кг·80 кг=8 Дж.

2. У аб'ёме дазіметра змяшчаецца 0,1 л·0,00129 кг/л = 1,29·10⁻⁶ кг паветра. Дазіметр зарэгіструе вельмі высокую экспазіцыйную дозу: 1·10⁻⁶ Кл/1,29·10⁻⁴ кг = 0,775·10² Кл/кг, або каля 3000 Р. Паколькі зарад аднаго іона q = 1,6·10⁻¹⁹ Кл, то ў аб'ёме дазіметра ўтварылася: 1·10⁻⁶ Кл/2·1,6·10⁻¹⁹ Кл = 3,1·10¹² пар іонаў. Для ўтварэння адной пары іонаў у сухім паветры расходуюцца прыкладна

34 эВ енергіі. Такім чынам, у аб'ёме дэтэктара паглынецца: $3,1 \cdot 10^{12} \cdot 34$
 $\text{эВ} = 1,05 \cdot 10^{14} \text{ эВ} = 6,56 \text{ мкДж}$.

Гэта практыкаванне можна выканаць рознымі спосабамі. Вось адзін з іх. Паколькі ў дазіметры змяшчаецца $1,29 \cdot 10^{-6} \text{ кг}$ паветра, у якім паглынулася $6,56 \text{ мкДж}$ енергіі, то ў 1 кг паветранага асяроддзя паглынецца: $6,56 \cdot 10^{-6} \text{ Дж} / 1,29 \cdot 10^{-6} \text{ кг} = 5,08 \text{ Гр}$.

Да п. 3

$L_{D50/30}$ для чалавека роўна $3,5 \text{ Зв}$. Паколькі для γ -квантаў $K=1$, то паглынутая доза складае ў дадзеным выпадку $3,5 \text{ Гр}$, або $3,5 \text{ Дж/кг}$ масы. Ва ўсім апраменьеным целе паглынутая энергія: $3,5 \text{ Дж/кг} \cdot 70 \text{ кг} = 245 \text{ Дж}$.

Для α -часціц $K=20$. Такім чынам, такую ж эквівалентную дозу для дадзенага віду выпраменьвання стварае паглынне ў 20 разоў меншай энергіі: $245 \text{ Дж} : 20 = 12,25 \text{ Дж}$.

Да п. 8

Выкарыстаем рэкамендаваныя каэфіцыенты радыяцыйнай рызыкі. Тады дадатковы лік тых, хто захварэў ракам, роўны $0,062 \text{ Зв}^{-1} \cdot 4000 \text{ чал} \cdot \text{Зв} = 248 \text{ чал}$. Аналагічна выпадкаў спадчынных захворванняў: $0,01 \text{ Зв}^{-1} \cdot 4000 \text{ чал} \cdot \text{Зв} = 40 \text{ чал}$.

З М Е С Т

Карысныя атамы

1. Мечаныя атамы	3
2. Колькі крыві ў чалавека?	8
3. Ізатопы распазнаюць хваробы	10
4. Тэлеперадача са шчытападобнай залозы	13
5. Колькі гадоў Зямлі, або Атамны гадзіннік	15
6. Карысныя прамяні	20
7. Прамяні шкодныя і жыватворныя	24
8. Магічны метал уран	26
9. Як працуе атамны рэактар?	28
10. Энергія для патомкаў	30

Радыяцыя вакол нас

1. Касмічныя прамяні	32
2. Радыяцыя глебы і зямных парод	36
3. Прыродная радыеактыўнасць і чалавек	39
4. Крыніцы штучнага апраменьвання	40
5. Атамныя і тэрмаядзерныя выбухі	44
6. Радыяцыйныя аварыі	50
7. Радыеактыўныя рэчывы ў прыродзе	55
8. Радыеактыўнасць навакольнага асяроддзя і чалавек	57

Радыеактыўнасць

1. Атамы і ядры	61
2. Энергетыка ядзер. Гама-выпраменьванне	66
3. Альфа-распад	69
4. Бэта-распад	70
5. Закон радыеактыўнага распаду	71
6. Узаемадзеянне выпраменьванняў з рэчывам	74
7. Пранікаючая здольнасць іанізуючых выпраменьванняў	79

**Дзеянне радыяцыі
на навакольнае асяроддзе**

1. Хвалі і энергія	82
2. Радыяцыйны эфект. Памяце дозы	85
3. Дзеянне радыяцыі на біялагічныя аб'екты	89
4. Стады радыебіялагічнага дзеяння	91
5. Радыяцыйнае пашкоджанне клетачных структур	92
6. Радыеадчувальнасць тканак і органаў	96
7. Прамянёвая хвароба	98
8. Стахастычныя эфекты	101

Рашэнне задач у практыкаваннях да раздзела
«Дзеянне радыяцыі на навакольнае асяроддзе» 106

Вучэбнае выданне

ЛЮЦКО Аляксандр Міхайлавіч
КАЧАРСКАЯ Людміла Венямінаўна

РАДЫЯЦЫЙНАЯ БЯСПЕКА
Вучэбны дапаможнік для 5—9 класаў базавай школы

Загадчык рэдакцыі *Л. І. Мінько*
Рэдактар *Л. В. Грынкевіч*
Мастак *М. У. Бялоў*
Мастацкі рэдактар *А. І. Раманцоў*
Тэхнічны рэдактар *З. У. Раманкевіч*
Карэктар *Р. С. Ахрэмчык*

Здадзена ў набор 15.10.93. Падпісана ў друк 30.03.94. Фармат 60Х90¹/₁₆. Папера
кніжна-часопісная. Гарнітура літаратурная. Афсетны друк. Умоўн. друк. арк.7.
Умоўн. фарбаадбіт. 28,5. Ул.-выд. арк. 6,18. Тыраж 206 400 экз. Заказ 547.

Выдавецтва «Народная асвета» Міністэрства культуры і друку Рэспублікі Беларусь.
Ліцэнзія ЛВ № 4. 220600, Мінск, праспект Машэрава, 11.

Набрана на Мінскім ордэна Працоўнага Чырвонага Сцяга паліграфкамбінаце
МВПА імя Я. Коласа. 220005, Мінск, Чырвоная, 23.

Мінская фабрыка каляровага друку. 220115, Мінск, Каржанеўскага, 20.

Люцко А. М., Качарская Л. В.

Л 96 Радзяцыйная бяспека: Вучэб. дапам. для 5—9-х
кл. базавай шк. / Пер. на белар. мову М. Г. Вінагра-
давай.— Мн.: Нар. асвета, 1994.— 107 с.: іл.
ISBN 985-03-0018-3.

Л $\frac{6140876000-030}{М 303(03) - 94}$ 85-94

ББК 51.26я721

(Назва і нумар школы)

Навучальны год	Імя і прозвішча вучня	Стан падручніка пры атрыманні	Ацэнка вучню за карыстанне падручнікам
19 /			
19 /			
19 /			
19 /			

