

► Па правілах МАГАТЭ (Міжнароднага Агенцтва па Атамнай Энергіі), гранічная доза апраменьвання складае 5 мЗв у год для насельніцтва і 0,05 Зв год для людзей шkodных прафесій (не лічачы фонавага выпраменьвання). У Рэспубліцы Беларусь з 28 снежня 2012 г. уведзены наступныя Нормы радыяцыйнай бяспекі. Асноўнай мяжой доз для насельніцтва з'яўляецца эфектыўная доза, роўная 1 мЗв у год у сярэднім за любыя паслядоўныя 5 гадоў, але не больш за 5 мЗв у год або эфектыўная доза за перыяд жыцця (70 гадоў) — 70 мЗв. Эквівалентныя дозы за год: у хрусталіку вока — 15 мЗв; у скуры, кісцях і ступнях — 50 мЗв.



1. Якое выпраменьванне называюць іанізуючым?
2. У чым праяўляецца біялагічнае ўздзеянне іанізуючага выпраменьвання на жывыя арганізмы?
3. Якое выпраменьванне мае найбольшую пранікальную здольнасць?
4. Да якіх наступстваў можа прывесці апраменьванне чалавека іанізуючым выпраменьваннем?
5. Што з'яўляецца асноўнымі натуральнымі крыніцамі іанізуючага выпраменьвання?
6. Чым займаецца дазіметрыя?
7. Дайце азначэнне паглынутай дозы выпраменьвання. Што з'яўляецца адзінкай вымярэння паглынутай дозы ў СІ?
8. Што такое эквівалентная доза? Што з'яўляецца адзінкай эквівалентнай дозы ў СІ?
9. Што такое эфектыўная доза? Што з'яўляецца адзінкай эфектыўнай дозы ў СІ?
10. Якія пазасістэмныя адзінкі выкарыстоўваюцца для вымярэння паглынутай і эквівалентнай доз?
11. Якія з натуральных унутраных крыніц іанізуючага выпраменьвання з'яўляюцца найбольш небяспечнымі?
12. Якія органы чалавека з'яўляюцца найбольш адчувальнымі да паражэння іанізуючым выпраменьваннем?

## § 44. Элементарныя часціцы і іх узаемадзеянні

- Доўгі час пратон, нейтрон і электрон лічыліся непарушнымі «цаглінкамі» матэрыі. Аднак па меры адкрыцця новых часціц перад фізікамі паўстала праблема іх класіфікацыі: колькі ўсяго «цаглінак» матэрыі, якія з іх з'яўляюцца найбольш простымі, а якія маюць складаную структуру, г. зн. утвораны з іншых часціц. Як часціцы ўзаемадзейнічаюць паміж сабой? Як яны распадаюцца?



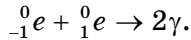
Кожны электрон характарызуецца ўласным механічным момантам руху, які называецца спінам (ад англ. *spin* — круціць).

Аж да канца XIX ст. атамы лічыліся непадзельнымі «цаглінкамі» матэрыі. Але ў канцы XIX — пачатку XX ст. вучонымі была вызначана складаная будова атамаў і раскрыта структура ядзер. Адкрыты новыя часціцы — электроны, фатоны, пратоны і нейтроны, якія вызначаюць уласцівасці атамаў і ядзер і іх узаемадзеянне. Менавіта яны, а не атамы з'яўляліся найбольш простымі непадзельнымі часціцамі, іх трэба было лічыць «цаглінкамі светабудовы».

У 1932 г. была адкрыта новая часціца і першая антычасціца — пазітрон. Хоць яшчэ ў 1928 г. англійскі фізік П. Дзірак, зыходзячы з распрацаванай ім рэлятывісцкай тэорыі руху электрона, прадказаў, што павінен існаваць «двайнік» электрона, які мае дадатны зарад. Пазітрон з'явіўся першай вынайздзенай антычасціцай. У 1955 г. быў адкрыты антыпротон, у 1956 г. — антынейтрон. У тым жа годзе была адкрыта яшчэ адна новая часціца — нейтрына.

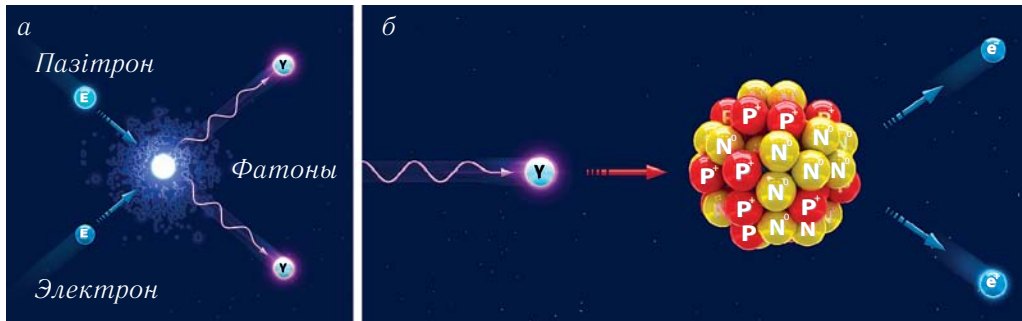
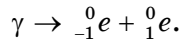
Існаванне пазітрона (ад лац. *positus* — дадатны), які прадказаў Поль Дзірак, у 1932 г. даказаў амерыканскі фізік К. Андэрсан, даследуючы касмічныя прамені.

Пры сутыкненні электрона і пазітрона, якія павольна рухаюцца, яны анігілююць (ад лац. *nihil* — нішто), і ўзнікаюць звычайна два фатоны (мал. 231, а):

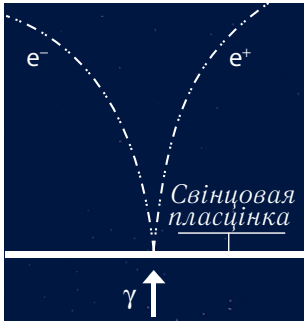


Утварэнне пры анігіляцыі менавіта двух (рэдка трох) фатонаў з'яўляецца вынікам закону захавання імпульсу і энергіі.

Магчымы і адваротны працэс нараджэння электронна-пазітроннай пары ў полі ядра за кошт энергіі фатона:



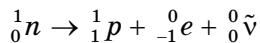
Мал. 231. а — анігіляцыя электрона і пазітрона пры сутыкненні; б — нараджэнне электронна-пазітроннай пары з  $\gamma$ -кванта ў полі ядра



Мал. 232. Нараджэнне электронна-позітроннай пары з  $\gamma$ -кванта пры праходжанні квантаў праз свінцовую пласцінку

Вучоным пры даследаванні асаблівасцей  $\beta^\pm$ -распаду, а таксама ўласцівасцей нейтрына (антынейтрына) упершыню прыйшлося мець справу з яшчэ адным відам фундаментальнага ўзаемадзеяння — *слабым узаемадзеяннем*. Яно праяўляецца пры ўзаемаператварэннях элементарных часціц. Для характарыстыкі слабых узаемадзеянняў уводзіцца квантавы лік — *лептонны зарад*, які абазначаецца лацінскай літарай  $L$ . Неабходнасць увядзення лептоннага зараду абумоўлена тым, што дагэтуль не выяўлена ні адной з'явы, у якой не выконваецца *закон захавання лептоннага зараду: сума лептонных зарадаў да і пасля ўзаемадзеяння захоўваецца*. Лептонны зарад уяўляе сабой безразмерны цэлы лік. Ва ўсіх лептонаў (часціц і антычасціц)  $L = \pm 1$ , а ў часціц, якія не з'яўляюцца лептонамі (напрыклад, нуклонаў),  $L = 0$ . Нейтрына, таксама як і электрон, адносяць да класа *лептонаў*.

Разгледзім рэакцыі  $\beta^\pm$  ператварэнняў. З закону захавання лептоннага зараду для ўраўнення рэакцыі распаду нейтрона:



вынікае:

$$0 = 0 + 1 + L.$$

Адкуль знаходзім:

$$L = -1.$$

Такім чынам, лептонны зарад нейтрына ў дадзенай рэакцыі адмоўны. Значыць, як вынікае з азначэння лептонаў, падчас  $\beta^-$ -рас-

Схематычны відарыс такога працэсу паказаны на малюнку 231, б. На малюнку 232 паказана нараджэнне пары электрон-позітрон у свінцовай пласцінцы, якая апраменьваецца  $\gamma$ -квантамі.

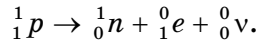
Неўзабаве быў сфармуляваны прынцып зарадавага спалучэння: кожная зараджаная часціца мае антычасціну. Гэты прынцып распаўсюджваецца на нейтральныя часціцы — нейтрон і нейтрына.

Такім чынам, фактычна палову ўсіх элементарных часціц складаюць антычасціцы.

У тым жа 1932 г. пры даследаванні  $\beta^\pm$ -распаду была адкрыта яшчэ адна новая часціца — нейтрына.

паду ядра нараджаецца не нейтрына, а *антынейтрына*  $\bar{\nu}$  (гл. мал. 216).

Адзначым, што свабодны пратон, у адрозненне ад нейтрона, стабільны. Аднак у ядры становіцца магчымым  $\beta^+$  ператварэнне пратона ў нейтрон з выпусканнем *пазітрона* і *нейтрына*:



Гэта вынікае з закону захавання лептоннага зараду, паколькі

$$0 = 0 - 1 + L,$$

адкуль  $L = +1$ .

Такім чынам, пры электронным распадзе ўзнікае антынейтрына  $\bar{\nu}$ , пры пазітронным распадзе — нейтрына  $\nu$ . Гэта абумоўлена фундаментальным законам захавання лептоннага зараду.

Перш чым перайсці да класіфікацыі часціц, неабходна даць азначэнне таго, што разумеецца ў наш час пад элементарнай часціцай.

**Элементарнымі** называюць часціцы, якія на сучасным узроўні развіцця фізікі можна лічыць першаснымі нераскладальнымі далей часціцамі, і з іх пабудавана ўся матэрыя. Непадзельнасць элементарных часціц не азначае, што ў іх адсутнічае ўнутраная структура.

Элементарныя часціцы здольныя ўзаемадзейнічаць адна з адной. Для ўсіх элементарных часціц характэрна здольнасць узнікаць і паглынацца (нараджацца і знішчацца) пры ўзаемадзеянні з іншымі часціцамі. Напрыклад, хоць нейтрон і не складаецца з пратона, электрона і антынейтрына, але ён можа ператварацца ў названыя часціцы пры ўзаемадзеяннях.

Агульнымі характарыстыкамі ўсіх элементарных часціц з'яўляюцца маса, сярэдні час жыцця, электрычны зарад і спін.

Адрозненне ў масах часціц атрымала адлюстраванне ў назвах тыпаў часціц: **лептоны** (ад грэч. λεπτος — лёгкі), **мезоны** (ад грэч. μεσος — сярэдні), **барыёны** (ад грэч. βαρυσ — цяжкі). Аднак у далейшым аказалася, што такая класіфікацыя не адлюстроўвае ўсе ўласцівасці элементарных часціц.

Электрычныя зарады элементарных часціц з'яўляюцца кратнымі велічыні элементарнага электрычнага зараду.

Спін элементарных часціц з'яўляецца цэлым ці напайцэлым і кратным пастаяннай Планка  $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ .

У 50-х гг. XX ст. было вынайджена, што ў ядзерных рэакцыях могуць нараджацца новыя віды часціц, калі часціца, што бамбардуе, мае дастатковую энергію. Агульны лік элементарных часціц з антычасціцамі — каля 500, і іх колькасць павялічваецца з кожным годам. З іх 30 — адносна стабільныя з сярэднім часам жыцця не менш за  $10^{-17}$  с і больш за 400 — кароткажывучыя, з сярэднім часам жыцця  $10^{-23}$  с. Час жыцця залежыць ад прыроды ўзаемадзеяння.

У залежнасці ад часу жыцця элементарныя часціцы падзяляюцца на *стабільныя, квазістабільныя і нестабільныя (рэзанансы)*.

Калі распад абумоўлены моцным узаемадзеяннем, то сярэдні час жыцця часціцы аказваецца вельмі малым ( $10^{-22}$ — $10^{-24}$  с), і гістарычна яны былі названы (нестабільнымі) *рэзанансамі*.

Пры распадзе, абумоўленым слабым узаемадзеяннем, сярэдні час жыцця часціц  $\geq 10^{-10}$  с, пры электрамагнітным узаемадзеянні —  $10^{-16}$ — $10^{-19}$  с. Такія часціцы называюцца *квазістабільнымі*.

*Стабільнымі* ў межах дакладнасці сучасных вымярэнняў з'яўляюцца **электрон, пратон, фатон і нейтрына**.

Вывучэннем іх уласцівасцей і ўзаемадзеянняў займаюцца ў раздзеле фізікі, які называецца *фізікай элементарных часціц*.

► Электрычны зарад часціц у ядзернай фізіцы прынята таксама выражаць не ў кулонах, а ў выглядзе цэлага ліку, які паказвае, колькі элементарных зарадаў складаюць зарад дадзенай часціцы  $\left( Z = \frac{q}{e} \right)$ . Таму для пратона зарад роўны +1, для электрона −1, а для атамнага ядра — Z.



§44-1

1. Якая антычасціца была адкрыта першай?
2. Ці ўсе элементарныя часціцы маюць антычасціцу?
3. Чым адрозніваецца антычасціца ад часціцы?
4. Якая часціца называецца элементарнай?
5. Якія часціцы з'яўляюцца стабільнымі?
6. Якія часціцы адносяцца да квазістабільных і нестабільных (рэзанансаў)?

## САМАЕ ВАЖНАЕ Ў РАЗДЗЕЛЕ 7

Ядзерная фізіка вывучае атамныя ядры. Пратон і нейтрон з'яўляюцца двума рознымі станамі адной і той жа часціцы — **нуклона**.

Лік пратонаў у ядры называецца **атамным нумарам** і абазначаецца літарай  $Z$ . Агульны лік нуклонаў называецца **масавым лікам** і абазначаецца літарай  $A$ . Лік нейтронаў у ядры

$$N = A - Z.$$

**Ядзерныя сілы** — кароткадзеючыя сілы прыцягнення дзейнічаюць толькі паміж дадзеным нуклонам і яго непасрэднымі суседзямі.

**Ядзерная рэакцыя** — гэта працэс узаемадзеяння атамнага ядра з іншым ядром ці элементарнай часціцай, які можа суправаджацца змяненнем саставу і будовы ядра.

**Энергіяй рэакцыі  $Q$**  называецца рознасць энергій спакою пачатковага і канечнага станаў часціц, якія ўдзельнічаюць у рэакцыі. Ядзерныя рэакцыі, якія адбываюцца з вылучэннем энергіі ( $Q > 0$ ), называюцца *экзаэнергетычнымі*, а з паглыннаннем энергіі ( $Q < 0$ ), — *эндаэнергетычнымі*. Энергія, якая вызваляецца пры ядзернай рэакцыі, называецца **энергетычным выхадам** ядзернай рэакцыі.

Пад **энергіяй сувязі** атамных ядзер разумеецца энергія, необходимая для падзелу ядра на асобныя нуклоны:

$$E_{\text{суб}} = (Zm_p + Nm_n - m_{\text{я}})c^2 = \Delta mc^2.$$

**Дэфект масы ядра** — рознасць паміж сумарнай масай усіх нуклонаў ядра ў свабодным стане і масай ядра:

$$\Delta m = Zm_p + (A - Z)m_n - m_{\text{я}}.$$

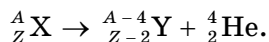
Характарыстыкай трываласці (звязанасці) ядзер з'яўляецца **ўдзельная энергія сувязі  $\varepsilon$  ядра**, г. зн. энергія сувязі, якая прыпадае на адзін нуклон:

$$\varepsilon = \frac{|E_{\text{суб}}|}{A}.$$

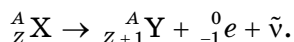
**Радыеактыўнасць** — з'ява самаадвольнага ператварэння ядзер, якая суправаджаецца выпусканнем часціц ці ядзер і караткахвалевага электрамагнітнага выпраменьвання.

Радыеактыўныя ператварэнні ядзер, як правіла, суправаджаюцца выпусканнем  $\alpha$ - і  $\beta$ -часціц і  $\gamma$ -выпраменьвання.

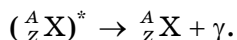
Пры  $\alpha$ -распадзе прадуктам распаду аказваецца ізатоп з лікам пратонаў  $Z - 2$  з выпускаем  $\alpha$ -часціцы:



Пры  $\beta^-$ -распадзе ўтвараецца ізатоп з атамным нумарам  $Z + 1$ :



Выпусканне  $\gamma$ -выпраменьвання не прыводзіць да ператварэнняў элементаў:



Закон радыеактыўнага распаду:

$$N = N_0 2^{-\frac{t}{T_1}}.$$

**Ланцуговай рэакцыяй** называецца працэс, у якім прадукты пэўнай рэакцыі выклікаюць наступныя рэакцыі такога ж тыпу.

**Крытычнай масай** называецца мінімальная маса ядзернага гаручага, необходимая для падтрымання ланцуговай рэакцыі.

**Ядзерным рэактарам** называецца прылада, у якой можа адбывацца самападтрымліваемая ланцуговая ядзерная рэакцыя дзялення ядзер цяжкіх элементаў пад дзеяннем нейтронаў.

Адным з відаў ядзерных рэакцый з'яўляюцца рэакцыі сінтэзу лёгкіх ядзер, якія эфектыўна ажыццяўляюцца пры звышвысокіх тэмпературах  $\sim 10^9$  К і самападтрымліваюцца за кошт значнага вылучэння ў іх энергіі. Такія рэакцыі называюцца **тэрмаядзернымі**.

**Іанізуючым** называюць такі від выпраменьвання, узаемадзеянне якога з рэчывам прыводзіць да іанізацыі яго атамаў і малекул.

Колькасць энергіі, перададзенай адзінцы масы рэчыва іанізуючым выпраменьваннем, называецца **дозай**.

Прыборы для рэгістрацыі іанізуючага выпраменьвання называюць **дэтэктарамі**.

**Элементарныя часціцы** — першасныя, нераскладаемыя далей часціцы, якія нельга лічыць злучэннем іншых часціц, што існуюць у свабодным стане. Асноўнымі характарыстыкамі элементарных часціц з'яўляюцца іх маса, электрычны зарад, сярэдні час жыцця, спін.

Для ўсіх элементарных часціц характэрна здольнасць выпускацца і паглынацца (нараджацца і знішчацца) пры ўзаемадзеянні з іншымі

часціцамі. Адрозніваюць чатыры тыпы **фундаментальных** узаемадзеянняў: гравітацыйнае; электрамагнітнае; моцнае; слабае.

Электрамагнітнае ўзаемадзеянне характэрна для ўсіх часціц, якія валодаюць электрычным зарадам. Квант электрамагнітнага поля — **фатон**.

У мікрасвеце выконваюцца фундаментальныя законы захавання энергіі, імпульсу і зарадаў.

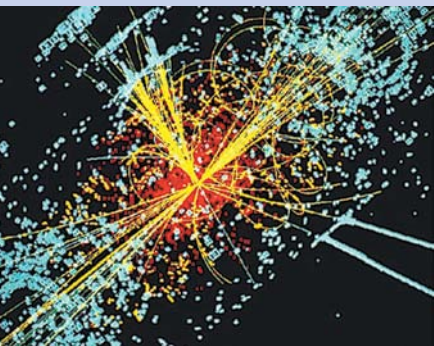


### Заданні для самастойных даследаванняў

1. Падрыхтуйце інтэрактыўную прэзентацыю (флаер, плакат, рэферат) аб дзейнасці выдатных фізікаў (А. Бекерэль, Э. Рэзерфард, Д. Чэдвік, М. Складоўская-Кюры, П. Кюры, Э. Фермі, В. Паўлі, Ф. Содзі, І. Курчатаў, П. Хігс).

2. Падрыхтуйце рэфераты на тэмы: «Мас-спектраскапія і яе прымяненне», «Выкарыстанне радыеактыўных ізатопаў у прамысловасці», «Ужыванне гама-выпраменьвання ў медыцыне», «Ядзерная геахраналогія», «Метады лячэння і дыягностыкі з ужываннем іанізуючага выпраменьвання», «Паскаральнікі зараджаных часціц і іх прымяненне ў навуцы, медыцыне, вытворчасці», «Віды ядзерных энергетычных рэактараў».





## Раздзел 8

# Асновы адзінай фізічнай карціны свету

### § 45. Сучасная прыродазнаўчанавуковая карціна свету

Галоўная мэта прыродазнаўчых навук — адкрыць адзінства сіл Прыроды.

*Л. Больцман*

Найбольш неспазнавальнай з’явай прыроды з’яўляецца той факт, што яна пазнавальная.

*А. Эйнштэйн*

Прырода — гэта храм навукі, дзе могуць камяні сказаць,

Хоць часта мова іх для нас незразумела.

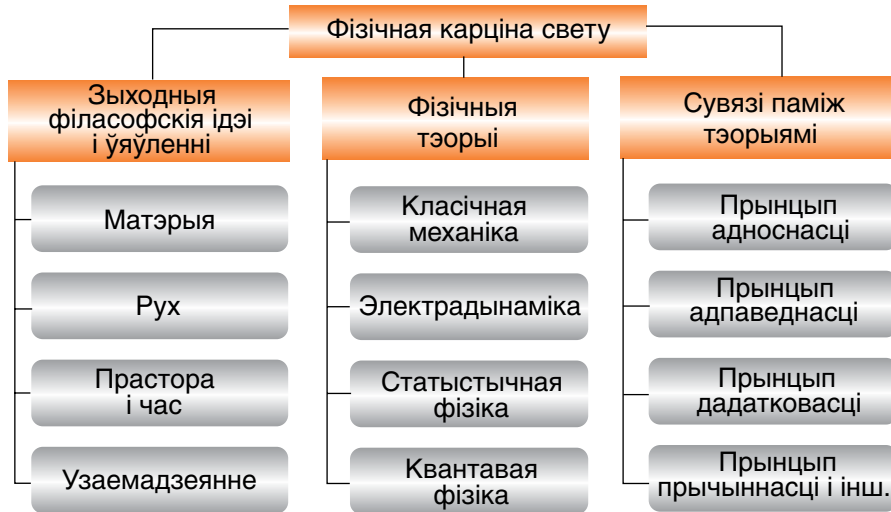
Вакол — лес сімвалаў, трывожны і бязмерны,

І сімвалы на нас з усмешкаю глядзяць.

*Паводле Ш. Бадлера*

- Фізіка, з’яўляючыся наукай аб прыродзе, дае чалавеку веды аб навакольным свеце, дазваляючы тым самым, з аднаго боку, рашаць праблемы цывілізацыі, а з другога — берагчы нашу планету для будучых пакаленняў. Як аб’яднаць назапашаныя веды? Што сёння павінен ведаць кожны адукаваны чалавек аб фізічных з’явах?

У курсе фізікі вы пазнаёміліся з рознымі відамі ўзаемадзеянняў цел і аб’ектаў у прыродзе, якія вызначаюць не толькі разнастайнасць фізічных з’яў навакольнага свету, але і напрамак эвалюцыі Сусвету. Фізіка — навука аб прыродзе, аднак кожны яе раздзел падрабязна разглядае фізічныя з’явы толькі з аднаго боку, вылучаючы тыя ці іншыя ўласцівасці матэрыі па пэўнай прымеце. Спазнанне законаў прыроды гістарычна таксама ішло галоўным чынам на базе таго ці іншага фізічнага падыходу.



Мал. 233. Структура фізічнай карціны свету

Па меры назапашвання ведаў чалавецтва імкнулася «злучыць» усе разрозненыя факты і законы ў рамках абагульненай навуковай **карціны свету**. Пад карцінай свету разумеюць сукупнасць тэорый, законаў і прынцыпаў, якія апісваюць навакольны свет.

Першая, **механічная карціна** свету грунтавалася на класічнай механіцы І. Ньютана (мал. 233). У аснове пабудовы гэтай карціны свету знаходзілася тлумачэнне прычын і вызначэнне заканамернасцей механічнага руху нябесных цел, а таксама макра- і мегасістэм (Зямля, Месяц, Сонца, Сонечная сістэма, Галактыка). У якасці першапрычыны механічнага руху разглядалася гравітацыйнае ўзаемадзеянне паміж цэламі, якое бясконца хутка перадаецца на любыя адлегласці ў Сусвеце.

Напомнім, што на падставе сілавых або энергетычных уяўленняў можна вызначыць законы руху розных аб'ектаў: ад атамаў і малекул да планет і зорак. Найважнейшую ролю адыгрываюць прынцыпы інерцыі і адноснасці, уведзеныя ў механіку Г. Галілеем.

На падставе механічнай карціны свету ў XVIII—XIX стст. былі распрацаваны «зямная», нябесная і малекулярная механіка. Аднак у той жа час у фізіцы назапашвалася значная колькасць эксперыментальных даных, якія супярэчылі ідэям атамізму (дыскрэтнасці будовы рэчыва), што складалі яе фундамент.

Вывучэнне электрычных і магнітных узаемадзеянняў істотна змяніла ўяўленні аб матэрыі і прывяло да з'яўлення **электрамагнітнай карціны свету** (гл. мал. 233). У яе аснове ляжалі ўяўленні аб свеце, у якім усе з'явы апісваюцца з дапамогай сіл (гравітацыйных і электрамагнітных). Асноўны ўклад у стварэнне электрадынамікі зрабілі Ш. Кулон (электростатычныя ўзаемадзеянні), А. Вольта (крыніца пастаяннага току), А. Ампер (магнітныя палі і токі), М. Фарадэй (электрамагнітная індукцыя), Д. Максвел (тэорыя электрамагнетызму), Г. Герц (адкрыццё электрамагнітных хваль) і Г. Лорэнц (класічная электронная тэорыя будовы рэчыва).

М. Фарадэй прыйшоў да думкі аб неабходнасці замены дыскрэтных (карпускулярных) уяўленняў аб матэрыі непарарывнымі (кантынуальнымі). Матэрыя па Фарадэю ўяўлялася як непарарывнае бясконцае поле з сілавымі пунктавымі цэнтрамі. Д. Максвел стварыў матэматычную тэорыю электрамагнітнага поля. На падставе гэтай тэорыі ён зрабіў вывад, што распаўсюджванне электрамагнітнага ўзбурэння адбываецца з канчатковай скорасцю ў выглядзе электрамагнітных хваль. Новая карціна свету змяніла і прынцыпы перадачы ўзаемадзеяння: яны перадаюцца пасродкам поля бесперапынна ад пункта да пункта і з канчатковай скорасцю. Як вынікае з электрамагнітнай карціны свету, унутраная будова рэчыва вызначаецца дзеяннем электрамагнітных сіл.

Фактычным завяршэннем фарміравання электрамагнітнай карціны свету стала спецыяльная тэорыя адноснасці А. Эйнштэйна. Ён дапоўніў законы электрадынамікі ідэяй адноснасці як прасторы, так і часу.

Аднак на мяжы XIX—XX ст. выявіўся шэраг тэарэтычных праблем і эксперыментальных фактаў, якія не знаходзілі тлумачэння ў рамках электрамагнітнай карціны свету: радыеактыўнасць, цеплавое выпраменьванне, атамныя спектры, устойлівасць атамаў.

Першыя радыкальныя крокі ў стварэнні **квантава-палявой карціны свету** (гл. мал. 233) былі зроблены на пачатку XX ст. Квантаванне выпраменьвання ў працэсах выпускавання, паглынання і распаўсюджвання (М. Планк, А. Эйнштэйн); стацыянарныя станы электронаў у атаме (Н. Бор); зусім фантастычная для свайго часу ідэя — карпускулярна-хвалевага дуалізму (Л. дэ Бройль) і, нарэшце, стварэнне квантавай механікі (Э. Шродзінгер, В. Гейзенберг, П. Дзірак, В. Паўлі).

Вывучэнне будовы атамнага ядра (Э. Рэзерфард, П. Кюры і М. Складоўская-Кюры, Д. Чэдвік) прывяло да станаўлення фізікі атамнага ядра і элементарных часціц. Былі адкрыты прынцыпова новыя тыпы

ўзаемадзеянняў, уласцівыя толькі мікрасвету субатамных часціц, — моцнае і слабае. Энергія ядзерных рэакцый была пастаўлена на службу людзям (Э. Фермі, І. Курчатаў).

Асаблівасцю сучаснай фізічнай карціны свету з'яўляецца яе імавернасны характар, які выражаецца ў выглядзе статыстычных законаў (гл. мал. 233), што вывучаюцца ў рамках статыстычнай фізікі. Тут, у адрозненне ад механічнай карціны свету, няма «жорсткай» пэўнасці «будучыні».

Тут выпадковасць падзей выступае як аб'ектыўная ўласцівасць матэрыі. У сучаснай фізіцы асноўным матэрыяльным аб'ектам з'яўляецца квантавае поле, пераход якога з аднаго стану ў іншы і прыводзіць да з'яўлення часціц.

Адзначым дзве заканамернасці, якія ўласцівы развіццю фізікі. Першая прадстаўлена прынцыпам адпаведнасці (гл. мал. 233): прыватныя тэорыі, справядлівасць якіх эксперыментальна пацверджана, са з'яўленнем больш агульных тэорый захоўваюць сваё значэнне як прыватны ці гранічны выпадак. Прыкладам можа служыць спецыяльная тэорыя адноснасці, вывады якой пры малых скарасцях адпавядаюць вывадам механікі Ньютана.

Другая заканамернасць — інтэграцыя ці ўзаемапранікненне раздзелаў фізікі. Напрыклад, развіццё фізікі элементарных часціц і яе злучэнне з астраноміяй прывялі да з'яўлення астрафізікі, якая займаецца заканамернасцямі эвалюцыі зорак і Сусвету.

Квантава-палявая карціна свету па меры назапашвання новых навуковых фактаў і з'яўлення новых навуковых гіпотэз працягвае развівацца.

Такім чынам, пад **прыродазнаўчанавуковай карцінай свету** разумеюць сукупныя сучасныя веды аб навакольным свеце, назапашаныя прыродазнаўчымі навукамі: фізікай, астраноміяй, матэматыкай, хіміяй, біялогіяй. Фізічная карціна свету з'яўляецца састаўной часткай прыродазнаўчанавуковай карціны свету.

Фізічная карціна свету не вычэрпваецца ўяўленнямі аб структурнай будове матэрыі. Яна праяўляецца таксама і ў законах руху часціц, і ў законах іх узаемадзеяння.

Нягледзячы на дзіўную разнастайнасць узаемадзеянняў аб'ектаў у навакольным свеце (часціц, цел, галактык), у прыродзе, па сучасных даных, прысутнічаюць толькі чатыры тыпы **фундаментальных узаемадзеянняў**. Яны адрозніваюцца па інтэнсіўнасці і радыусе дзеяння. Менавіта гэтыя фундаментальныя ўзаемадзеянні і з'яўляюцца галоўнымі



«дзеючымі асобамі і выканаўцамі» ў пабудове сучаснай фізічнай карціны свету.

Самае слабае з узаемадзеянняў — **гравітацыйнае ўзаемадзеянне**. Яно прыкладна ў  $10^{38}$  разоў слабейшае за ядзернае. Гэта ўзаемадзеянне апісваецца законам сусветнага прыцягнення, які быў адкрыты І. Ньютанам у 1687 г. Гравітацыйныя сілы дзейнічаюць паміж любымі цэламі, у тым ліку і паміж элементарнымі часціцамі, аднак вырашальную ролю яны адыгрываюць толькі ў астранамічных аб'ектаў, якія маюць каласальныя масы.

У **электрамагнітным узаемадзеянні** ўдзельнічаюць любыя электрычна зараджаныя часціцы і целы, а яго «пераносчыкам» (квантам электрамагнітнага поля) з'яўляюцца фатоны. Электрамагнітныя сілы забяспечваюць магчымасць стабільнага існавання атамаў, малекул, вызначаюць механічныя ўласцівасці цвёрдых цел, вадкасцей і газаў.

**Моцнае ўзаемадзеянне** праяўляецца пры ўзаемадзеяннях нуклонаў унутры ядра (адронаў). У адрозненне ад гравітацыйнага і электрамагнітнага ўзаемадзеянняў, якія можна аднесці да далёкадзеючых, г. зн. дзеючых на адлегласцях, характэрных для макрасвету, моцнае ўзаемадзеянне з'яўляецца караткадзеючым, паколькі яно праяўляецца на адлегласцях, не большых за памеры ядра ( $\sim 10^{-15}$  м). Аднак на гэтых адлегласцях моцнае ўзаемадзеянне значна больш інтэнсіўнае за электрамагнітнае і тым больш гравітацыйнае, за што і атрымала сваю назву. Вобразна моцнае ўзаемадзеянне можна назваць «волатам з кароткімі рукамі». Моцныя ўзаемадзеянні паміж нуклонамі ў ядрах атамаў забяспечваюць устойлівасць ядзер розных атамаў. Паводле сучасных уяўленняў, моцнае ўзаемадзеянне пераносіцца квантамі новага тыпу — глюёнамі, якія падобна фатонам з'яўляюцца бязмасавымі часціцамі.

У **слабым узаемадзеянні** ўдзельнічаюць любыя элементарныя часціцы, акрамя фатонаў. Радыус дзеяння слабых сіл вызначаецца характэрным памерам элементарных часціц ( $\sim 10^{-18}$  м). Гэта ўзаемадзеянне мацнейшае за гравітацыйнае, але значна слабейшае за электрамагнітнае і моцнае ўзаемадзеянні. Слабыя ўзаемадзеянні праяўляюцца пры распадах адных элементарных часціц, у выніку чаго з'яўляюцца іншыя элементарныя часціцы. Такім чынам, слабае ўзаемадзеянне вызначае стабільнасць элементарных часціц і адыгрывае вырашальную ролю пры іх узаемаператварэннях. Яно ажыццяўляецца пасродкам абмену досыць масіўнымі часціцамі — базонамі ( $W^+$ ,  $W^-$ ,  $Z^0$ ), масы якіх складаюць каля 80 мас пратона. Базоны былі эксперыментальна адкрыты ў 1983 г.

Калі прыняць інтэнсіўнасць моцнага ўзаемадзеяння за адзінку (~1), то адносная інтэнсіўнасць электрамагнітнага ўзаемадзеяння будзе складаць  $\sim 10^{-2}$ , слабага  $\sim 10^{-10}$ , гравітацыйнага  $\sim 10^{-38}$ . З гэтага вынікае цікавы факт — найвялікшыя намаганні ў прыродзе неабходны для ўтрымання найбольш дробных часціц, а не планет ці зорных гігантаў!

Уся разнастайнасць узаемадзеянняў навакольнага свету, паводле сучаснай квантава-палявой карціны свету, зводзіцца да ўзаемадзеяння дзвюх груп квантавых аб'ектаў, першую з якіх складаюць **удзельнікі** фундаментальных узаемадзеянняў, а другую — іх **пераносчыкі**.

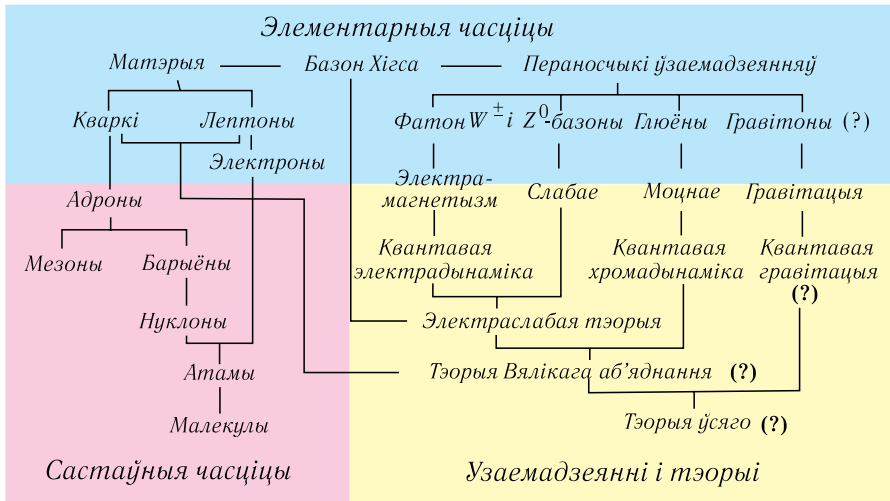
Да ўдзельнікаў узаемадзеянняў адносяцца электроны, пратоны, нейтроны, якія і з'яўляюцца першасным «будаўнічым матэрыялам» для стварэння ўсяго матэрыяльнага ў прыродзе. Абмен часціцамі-пераносчыкамі (гравітон, фотон, глюёны і бозоны) дазваляе часціцам-удзельнікам ажыццяўляць чатыры тыпы фундаментальных узаемадзеянняў, да якіх зводзяцца ўсе назіраемыя ўзаемадзеянні ў прыродзе. Вобразна можна ўявіць сабе навакольны свет як царства фундаментальных часціц, «якія кішаць і ўзаемадзейнічаюць адна з адной».

На наступным «узроўні» больш складанай арганізацыі матэрыі размяшчаюцца элементарныя часціцы, складзеныя з фундаментальных, агульны лік якіх, паводле сучасных даных, — большы за 500. Далей ідуць ядры, якія складаюцца з нуклонаў, агульны лік адпавядае ліку хімічных элементаў і іх ізатопаў — 2000. На наступным этапе арганізацыі матэрыі з'яўляюцца атамы, складзеныя з ядзер і электронаў, колькасць якіх адпавядае колькасці ядзер.

Атамы, узаемадзейнічаючы паміж сабой, утвараюць малекулы, агульны лік якіх ацэньваецца прыкладна ў 10 млн і ўвесь час нарастае за кошт сінтэзу новых злучэнняў. Малекулы ўтвараюць розныя рэчывы, рэчывы — целы, целы — астранамічныя аб'екты, астранамічныя аб'екты — Сусвет.

У наш час актуальнай з'яўляецца праблема **аб'яднання** розных тыпаў фундаментальных узаемадзеянняў у рамках адной тэорыі. Абнадзейлівым поспехам на гэтым шляху стала аб'яднанне электрамагнітнага і слабага ўзаемадзеянняў у адзінае **электраслабае ўзаемадзеянне** (мал. 234). На павестцы дня — пабудова тэорыі вялікага аб'яднання, якая ўключае ў сябе электрамагнітнае, слабае і моцнае ўзаемадзеянні.

Яшчэ больш грандыёзная ідэя аб'яднання ўсіх чатырох фундаментальных узаемадзеянняў, уключаючы гравітацыю, у рамках тэорыі



Мал. 234. Элементарныя часціцы і тэорыі ўзаемадзеянняў

супераб'яднання. Гэта тэорыя можа быць створана на аснове навейшай фізічнай тэорыі «суперструн», распрацаванай амерыканскімі фізікамі М. Грынам і Д. Шварцам, якая аб'ядноўвае ўсе фундаментальныя ўзаемадзеянні пры звышвысокіх энергіях.

Акрамя пабудовы сучаснай фізічнай карціны свету, якая з'яўляецца састаўной часткай сучаснай прыродазнаўчанавуковай карціны свету, фізіка «сфармулявала» шэраг прынцыпаў, якія з'яўляюцца агульнымі для любога навуковага даследавання, г. зн. яны могуць лічыцца філасофскімі прынцыпамі. Сюды адносіцца прынцып **прычыннасці**, прынцып **адноснасці**, прынцыпы **захавання**, прынцып **інварыянтнасці**, прынцып **дадатковасці**, прынцып **адпаведнасці** і некаторыя іншыя.



1. Што разумеюць пад навуковай карцінай свету?
2. Што называецца механічнай карцінай свету? На чым яна грунтуецца?
3. Пералічыце асноўныя паняцці і законы электрамагнітнай карціны свету. Калі яна ўзнікла?
4. Якія навуковыя адкрыцці пакладзены ў аснову квантава-палявой карціны свету?
5. Што з'яўляецца асноўным матэрыяльным аб'ектам у сучаснай фізічнай карціне свету?
6. Якія часціцы з'яўляюцца пераносчыкамі фундаментальных узаемадзеянняў?
7. Якая колькасць фундаментальных часціц паводле сучасных уяўленняў?

8. Якая колькасць вядомых сёння элементарных часціц? Ядзер? Атамаў? Малекул?
9. У чым заключаецца сутнасць тэорыі вялікага аб'яднання? Супер-аб'яднання?
10. Якія агульнанавуковыя (філасофскія) прынцыпы былі сфармуляваны ў сучаснай фізічнай карціне свету?

### Самае важнае ў раздзеле 8

Адрозніваюць чатыры тыпы **фундаментальных** узаемадзеянняў: гравітацыйнае, электрамагнітнае, моцнае, слабае.

У мікрасвеце выконваюцца фундаментальныя законы захавання **энергіі, імпульсу, электрычнага, барыённага і лептоннага зарадаў.**

Электрамагнітнае і слабае ўзаемадзеянні з'яўляюцца праяўленнем адзінага **электраслабага ўзаемадзеяння.**

У наш час актуальна праблема пабудовы тэорыі **вялікага аб'яднання**, якая магла б апісаць усе тыпы існуючых узаемадзеянняў.