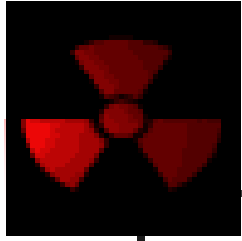


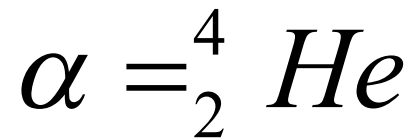
ІОНІЗУЮЧЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ

Зміст лекції:

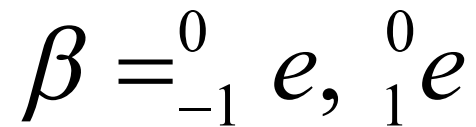
- ✿ Структура радіоактивного випромінювання
- ✿ Властивості іонізуючого випромінювання
- ✿ Біологічна дія радіації
- ✿ Елементи дозиметрії
- ✿ Елементарні частинки
- ✿ Фундаментальні взаємодії
- ✿ Кварки
- ✿ Кваркова теорія



СТРУКТУРА РАДІОАКТИВНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ



- альфа – частинка



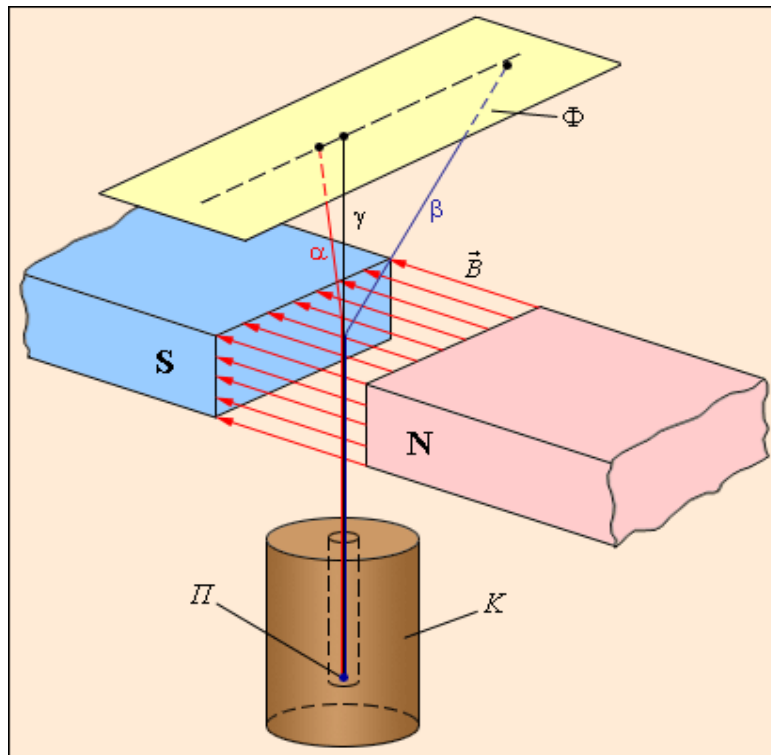
- бета – частинка

$$\gamma$$

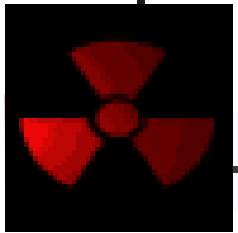
- жорстке електромагнітне
випромінювання

СХЕМА ЕКСПЕРИМЕНТУ РЕЗЕРФОРДА

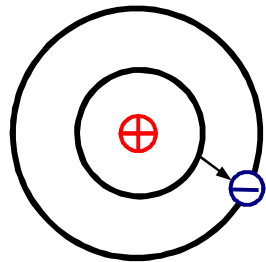
з виявлення складної структури радіоактивного випромінювання



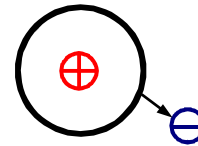
- ☠ К – свинцевий контейнер,
- ☠ П – радіоактивний препарат,
- ☠ Ф – фотопластинка,
- ☠ В – магнітне поле.



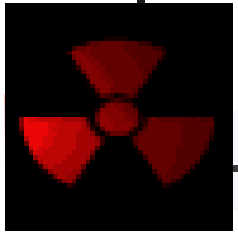
Основні процеси, які супроводжують проходження рентгенівського та гамма-випромінювання через речовину



Збудження

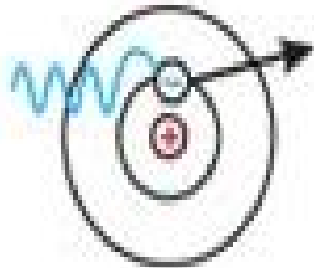


Іонізація

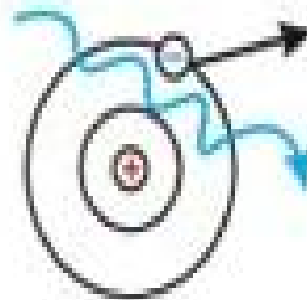


Основні процеси, які супроводжують проходження рентгенівського та гамма-випромінювання через речовину

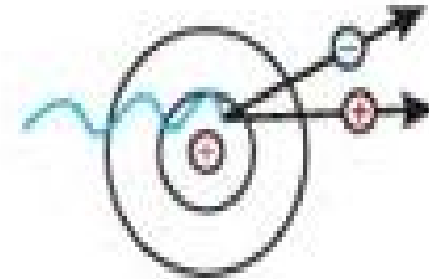
Фотоефект



Ефект Комптона



Народження пари



ВЛАСТИВОСТІ РАДІОАКТИВНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ



- **Проникна здатність** характеризується **пробігом** у повітрі
- **Іонізуюча здатність** визначається **питомою іонізацією** – кількістю пар іонів, утворених частинкою в повітрі на 1 см шляху. 1 пара - ~34 eV
- **Інтенсивність іонізації** залежить і від природи речовини. Чим більший атомний номер і більша густина речовини, тим з більш великою кількістю електронів стикнеться частинка на одиничному шляху пробігу, тим більш інтенсивною буде іонізація і меншою глибина проникнення



Довжина пробігу

Довжина пробігу альфа- та бета-частинок у повітрі і воді

Енергія частинок	0,5 MeV	5 MeV
Повітря	α → 0,3 см β → [] 2,5 м	α → [] 3,5 см β → [] 25 м
Вода	α → 0,004 мм β → [] 2,6 мм	α → [] 0,045 мм β → [] 26 мм



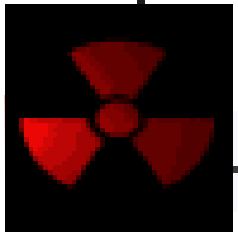
ПОГЛИНАННЯ ГАММА-ВИПРОМІНЮВАННЯ У РЕЧОВИНІ

Енергія гамма-квантів	Товщина шару речовини, яка послаблює потік гамма-випромінювання у десять разів		
	Вода	Бетон	Свинець
0,5MeV	24 см	12 см	1,3 см
1,0MeV	33 см	16 см	2,9 см
5,0MeV	76 см	36 см	4,7 см



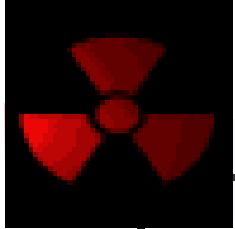
Альфа-частинки $\alpha = {}_2^4 \text{He}$

Інтенсивна іонізація і невелика проникна здатність. Залежно від енергії пробіг у повітрі $\sim 2,5 - 8$ см. У біотканинах вони проникають на глибину до однієї десятої частки мм. Однак на своєму відносно незначному шляху пробігу в повітрі альфа-частинка разом із вторинними електронами створює від 100 до 250 тис. пар іонів. На 1см. пробігу це складає до 40 тис. пар іонів, що характеризується як винятково висока густина іонізації. **Захист** – паперовий екран



Бета-частинки $\beta = {}_{-1}^0 e, {}_1^0 e$

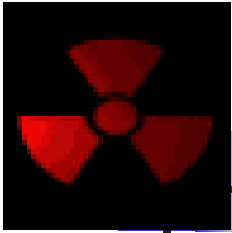
Менш інтенсивна іонізація і значна проникна здатність. Залежно від енергії пробіг бета-частинок у повітрі має порядок від десятків см до декількох метрів. У тканинах організму бета-частинки проходять на глибину до 10-15 мм. На шляху пробігу в повітрі бета-частинка створює від 1 до 25 тис. пар іонів, що складає до 40-50 пар іонів на 1 см пробігу.
Захист - плексигласовий чи алюмінієвий екран товщиною в декілька мм.



Гамма-фотони γ

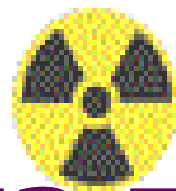
жорстке електромагнітне випромінювання

- **Висока проникна здатність.** Пробіг у повітрі - десятки і навіть сотні метрів. У біотканинах гамма-випромінювання проникає на велику глибину чи проходить наскрізь тіло людини. Первинна **іонізуюча здатність гамма-фотонів невисока**: на шляху пробігу гамма-фотон утворює від 10 до 250 пар іонів, що складає усього кілька пар іонів на 1 см пробігу. Однак повний іонізаційний ефект від гама випромінювання з урахуванням іонізуючої дії електронів, які були вибиті з атому при зіткненні з фотоном і отримали при цьому досить високу енергію, може бути дуже значним.
- **Захист** товсті шари землі, бетону і т.ін. чи важкі метали, такі як свинцевий екран товщиною в кілька см



БІОЛОГІЧНА ДІЯ РАДІАЦІЇ





Біологічна дія радіація

- Радіоактивне випромінювання називають **іонізуючим випромінюванням**, а радіоактивні частинки іонізуючими частинками.
- Оскільки людський організм не менше ніж на 70% складається з води, то іонізуюче випромінювання викликає радіоліз води, що призводить до утворення ненасичених (вільних) радикалів





БІОЛОГІЧНА ДІЯ РАДІАЦІЇ

- Токсична дія випромінювання пов'язана із вторинними реакціями, при яких відбувається розрив зв'язків усередині складних органічних молекул внаслідок дії вільних радикалів.



Вплив радіації на живі організми

Соматичний (імунний) ефект – це патологічні наслідки опромінення для окремої людини, виявляється тільки після того як отримана доза стане більшою за певну так звану **гранично допустиму дозу**. Як правило за допустиму дозу вважають 0,3 Бер на тиждень для опромінення всього тіла. Таким чином, людина яка опромінюється в таких дозах до 30 років отримає дозу близько 450 Бер. Але така сама доза, отримана людиною до 30 років при однократному опромінюванні в 50% випадків виявляється смертельною.



Вплив радіації на живі організми

- **Генетичний ефект для спадкоємних (статевих) клітин** організму, проявляється тільки в потомстві різними відхиленнями від норми.
- **Генетичний ефект для спадкоємного апарату для соматичних клітин тіла.** Він проявляється під час життя конкретної людини у вигляді різних (переважно ракових) захворювань.



ЕЛЕМЕНТИ ДОЗИМЕТРІЇ

- **Одиниці радіоактивності 1Бк, 1Ки.**

Розрізняють три типи доз.

- **I Доза опромінення** (експозиційна доза) визначається кількістю випромінювання, якому піддають біологічний об'єкт. Одиницею дози опромінення є 1 рентген (1Р).

1Р відповідає дозі опромінення, при якій в 1см^3 сухого повітря за нормальних умов утворюється $2,08 \cdot 10^9$ пар іонів.



ЕЛЕМЕНТИ ДОЗИМЕТРІЇ

- **II Доза поглинання.** Дія радіоактивного випромінювання на біооб'єкти характеризується дозою поглинання. **Дозою поглинання** називається величина, що показує яка кількість енергії випромінювання поглинається одиницею маси речовини. **Одиницями дози поглинання є 1Грей = 1Дж/кг, 1 рад=0,01Грей.**



ЕЛЕМЕНТИ ДОЗИМЕТРІЇ

- **III Біологічна доза.** При тій самій дозі поглинання біологічна дія різних типів випромінювання залежить від виду випромінювання, розміру опроміненої поверхні, відносної чутливості органів, які зазнали опромінення, індивідуальних особливостей організму. Крім того, біологічний ефект залежить від локальної густини іонізації. Таким чином, біологічний ефект для тієї самої дози поглинання у випадку важких радіоактивних частинок є значно більшим, ніж ефект, який створюють рентгенівські промені, гамма-промені чи бета -частинки.



ЕЛЕМЕНТИ ДОЗИМЕТРІЇ

- **Відносна біологічна ефективність випромінювання** – це показник, за допомогою якого визначають, у скільки разів біологічна дія іонізуючих випромінювань даного типу (наприклад альфа-, бета-промені, нейтрони і т.ін.) більша (або менша) за дію на той самий біологічний об'єкт стандартного випромінювання (жорсткі рентгенівські та гамма-промені).



Відносна біологічна ефективність випромінювання

Тип радіації	ВБЕ
Рентгенівські промені та гамма - випромінювання до 3 МеВ, бета - частинки	1
Теплові нейтрони	5
Протони і дейтрони	10
Швидкі нейтрони	10
Альфа - частинки	20

Одиниці СІ доз іонізуючого випромінювання

Найменування величини	Одиниці		
	Назва	Познач.	Визначення
Експозиційна доза опромінення	Кулон на кілограм	<i>Кл/кг</i>	дорівнює експозиційній дозі рентгенівського та гамма-випромінювання, при якій у одному кілограмі сухого атмосферного повітря утворюються іони, електричний заряд кожного знаку яких дорівнює <i>1Кл</i>
Потужність експозиційної дози	Ампер на кілограм	<i>А/кг</i>	дорівнює потужності експозиційної дози рентгенівського та гамма-випромінювання, при якій за час <i>1с</i> сухому атмосферному повітрю передається експозиційна доза опромінення
Поглинена доза опромінення	Грей	<i>Гр</i>	дорівнює поглиненій дозі опромінення, при якій опроміненій речовині масою <i>1 кг</i> передається енергія іоніз. випромінювання <i>1 Дж</i>
Потужність поглиненої дози	Грей за секунду	<i>Гр/с</i>	дорівнює потужності поглиненої дози опромінення при якій за час <i>1с</i> опроміненою речовиною поглинається доза опромінення <i>1 Гр</i>
Еквівалентна доза опромінення	Зіверт	<i>Зв</i>	дорівнює еквівалентній дозі опромінення, при якій поглинута доза дорівнює <i>1Гр</i> і коефіцієнт ВБЕ дорівнює одиниці
Потужність еквівалентної дози	Зіверт за секунду	<i>Зв/с</i>	дорівнює потужності еквівалентної дози опромінення, при якій за час <i>1с</i> опроміненою речовиною поглинається доза еквів. доза <i>1 Зв</i>



Зв'язок одиниць дози опромінення СІ позасистемними одиницями

1 рентген $1R = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$

Біологічний еквівалент рентгена (бер)

$$1 \text{ бер} = 0,01 \text{ Зв}$$

**Експозиційній дозі 1R рентгенівського
та гамма-випромінювання відповідає
еквівалентна доза $\approx 0,01 \text{ Зв}$**



Біологічна доза

1 Бер (біологічний еквівалент рентгена) або 1 Рем (радіаційний еквівалент людини, від англ): одиниця вимірювання еквівалентної (біологічної) дози радіації, що враховує різні шляхи передачі енергії від іонізуючої радіації тканинам людського організму

$$1 \text{ Бер} = 1 \text{ рад} \times \text{ВБЕ}$$



Еквівалентна доза

- **Зіверт:** одиниця вимірювання еквівалентної дози
- $1\text{Зв} = 100\text{Рем} = 100\text{Бер}$
- **Людино-зіверт:** доза для населення, що визначається як сума індивідуальних доз населення



Гранично допустима доза

- це біологічна доза опромінення, що призводить до патологічних наслідків у вигляді соматичних ефектів. За гранично допустиму дозу вважають **0,3 Бер на тиждень** для опромінення всього тіла. Таким чином, людина яка опромінюється в таких дозах до 30 років отримає дозу близько **450 Бер**. Але така сама доза, отримана людиною при однократному опромінюванні в 50% випадків виявляється смертельною



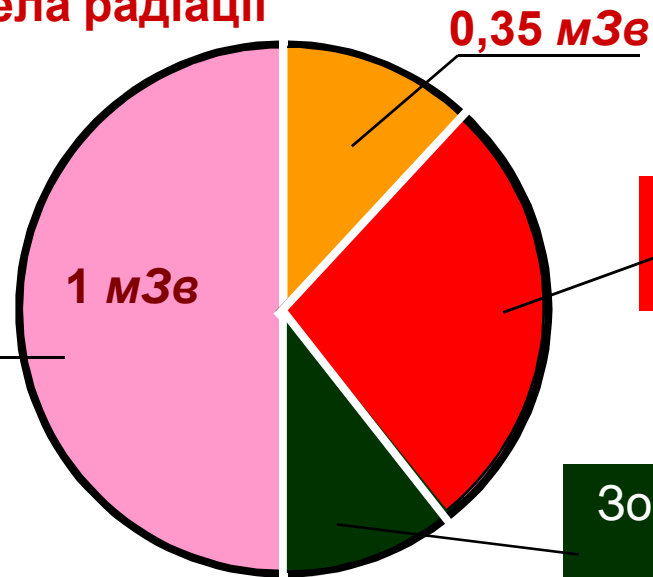
Гранично допустима доза

Для **генетичних ефектів**, які проявляються в різних аномаліях або відхиленнях від правильного розвитку потомства (мутації) не існує граничної дози. Ефекти, обумовлені мутаціями мають властивість кумулятивності і їх прояв спостерігається при дуже слабких дозах. Вірогідно, що такою є і канцерогенна дія радіації. Вважається, що підсумкова доза радіації на одну людину не має перевищувати до 30- річного віку 10 Бер

Допустимі та небезпечні дози опромінення

Природні джерела радіації

Внутрішнє опромінення обумовлене радоном та продуктами його розпаду, які попадають в організм під час дихання



Внутрішнє опромінення, обумовлене природними ізотопами в тканинах організму

Космічне випромінювання
0,3 мЗв

Зовнішнє гамма – випромінювання
0,35 мЗв

Середня загальна еквівалентна доза опромінення від природних джерел радіації дорівнює **2 мЗв/рік або 0,2 бер /рік**

Гранично допустимі еквівалентні дози опромінення

Для професіоналів	за рік	50 мЗв (5 бер)
Для населення	за рік	5 мЗв (0,5 бер)



Небезпечні дози однократного загального опромінення

- Загибель окремих клітин крові та полових клітин
- **0,1 - 0,5 Зв (10 – 50 бер)**
- Порушення у роботі кровотворної системи
- **0,5 - 1 Зв (50 – 100 бер)**
- Гостра променева хвороба (50% смертельних випадків)
- **3 - 5 Зв (300 – 500 бер)**



ЕЛЕМЕНТАРНІ ЧАСТИНКИ

- Основне завдання фізики елементарних частинок - це дослідження їх природи, властивостей і взаємних перетворень
- **Елементарні частинки** - це первинні частинки, які не можна розкласти на складники та з яких складається уся матерія
- Елементарні частинки у сучасній фізиці не відповідають строгому визначенню елементарності, оскільки більшість з них є **складними системами**. Загальною властивістю цих систем є те, що вони не є атомами чи ядрами (окрім протона), тому їх називають **суб'ядерними частинками**



ЕЛЕМЕНТАРНІ ЧАСТИНКИ

- *У всіх взаємодіях елементарні частинки поводять себе, як ціле.*
- *Елементарні частинки крім звичних властивостей (**маси спокою, електричного заряду, спіну**) характеризуються низкою специфічних властивостей: **баріонний заряд, лептонний заряд, гіперзаряд, дивність, ізотонічний спін та т. ін***



Фундаментальні взаємодії:

сильна, електромагнітна, слабка та гравітаційна

- **Сильна взаємодія** забезпечує зв'язок нуклонів у ядрі і ядерні реакції. Константа взаємодії, що характеризує її інтенсивність дорівнює 1, радіус дії 10^{-15} м.
- **Електромагнітна взаємодія:** константа взаємодії 10^{-2} , радіус взаємодії не обмежений.

Фундаментальні взаємодії:

сильна, електромагнітна, слабка та гравітаційна

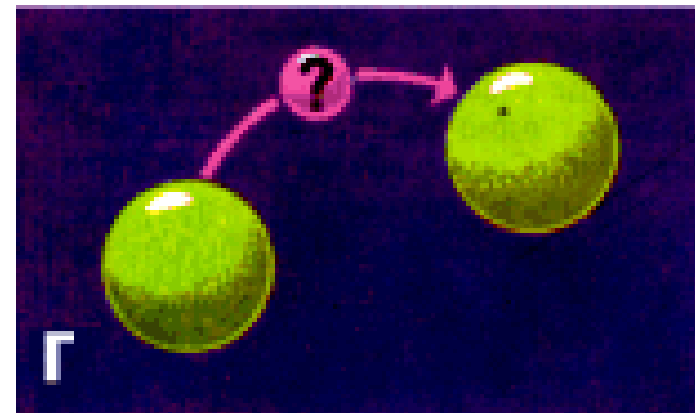
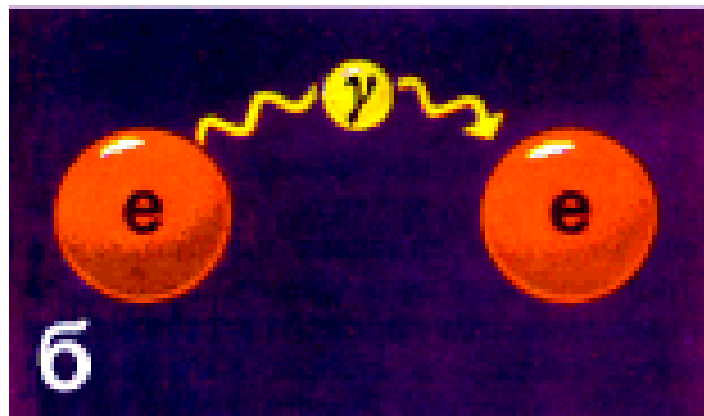
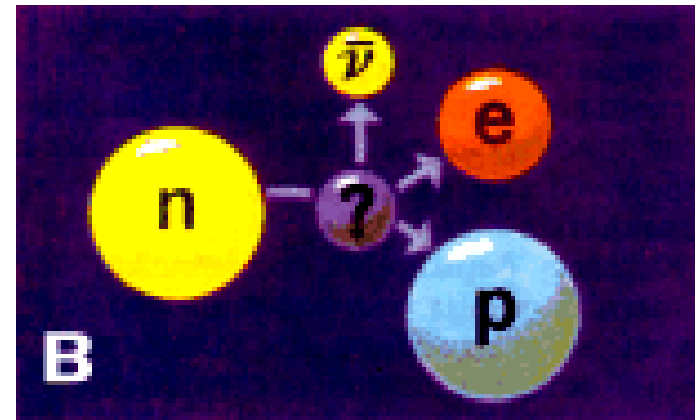
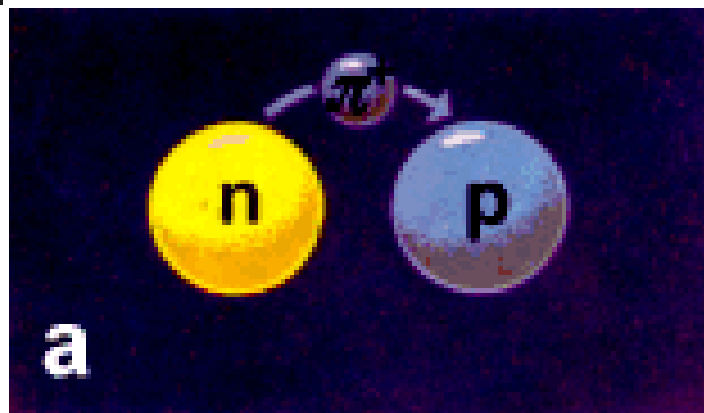
- **Слабкою взаємодією** пояснюються всі види бета-розпаду, а також взаємодію нейтрино з речовиною. Константа взаємодії 10^{-13} . Ця взаємодія є короткодійною, радіус дії 10^{-18} м. Слабка взаємодія - змінює внутрішню природу частинок.
- **Гравітаційна взаємодія** - універсальна, в мікросвіті її можна не враховувати, оскільки її константа дорівнює 10^{-38} . Радіус дії не обмежений.



Механізм взаємодій

за рахунок **обміну частинками** - **переносниками взаємодії**. **Електромагнітна взаємодія** - переносник - **фотон**. **Гравітаційна взаємодія** - переносники - кванти поля тяжіння - **гравітони**. І фотони, і гравітони не мають маси (маси спокою) і завжди рухаються зі швидкістю світла. **Слабкі взаємодії** - переносники - **векторні бозони**. Істотною відмінністю переносників слабкої взаємодії від фотона і гравітону є їх масивність. Переносники **сильних взаємодій** - **глюони** (від англійського слова glue - клей), з масою спокою, що дорівнює нулю

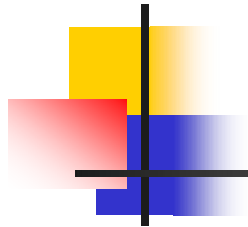
Механізм взаємодій



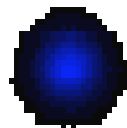
Властивості елементарних частинок

- **1 Здатність до взаємних перетворень.** Елементарні частинки здатні народжуватися й знищуватися.
- **2 Кожна елементарна частинка має античастинку.** Частинки відрізняються від античастинок тільки знаками зарядів, інші їх характеристики - тотожні.
Під час зіткнення частинки і античастинки відбувається їх **анігіляція** (зникнення), що супроводжується народженням фотонів великої енергії. Може протікати й зворотний процес – **народження** пари частинка-античастинка

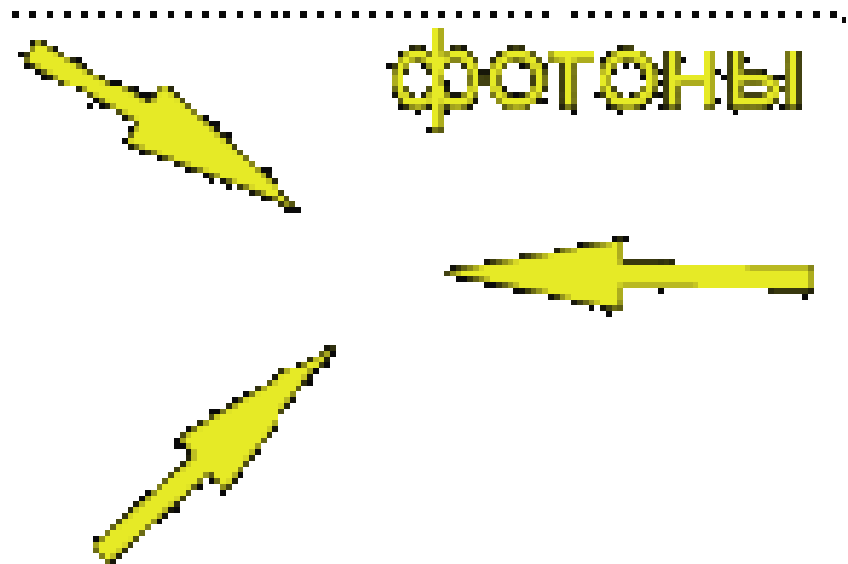
Анігіляція та виникнення частинок



антипротон



протон



Властивості елементарних частинок

- **3 Час життя.** Розрізняють стабільні, квазістабільні і нестабільні (резонанси) елементарні частинки.
Стабільні частинки: фотон, електрон, протон і нейтрино.
- **Нестабільні частинки** через певні проміжки часу зазнають **самочинних** перетворень в інші частинки. Нестабільні частинки розрізняються за часом життя.
- **Квазістабільні** частинки розпадаються за рахунок електромагнітної та слабкої взаємодій. Час життя $> 10^{-20}$ с (для вільного нейтрона навіть ~ 15 хв).
- **Резонанси** - елементарні частинки, які розпадаються за рахунок сильних взаємодій. Часи життя 10^{-23} - 10^{-24} секунд

Властивості елементарних частинок

- **4 Маса та розмір.** Більшість мають масу близьку до маси протона. (помітно меншою є лише маса електрона). Визначені з дослідів розміри протона, нейтрона, пі-мезона за порядком величини складають 10^{-15} м. Розміри електрона – не встановлені.
- **5 Спін** є цілим або півцілим величини \hbar . В цих одиницях спін пі- та К-мезонів дорівнює 0, у протона, нейтрона и електрона $=1/2$, у фотона $=1$. існують частинки з більшими спінами.



Властивості елементарних частинок

- **6 Електричний заряд.** Електричні заряди відомих Е. ч. є цілими кратними величині $e \approx 1,6 \times 10^{-19} \text{ К}$, яка називається елементарним електричним зарядом.
- **Крім наведених властивостей елементарні частинки мають внутрішні квантові числа. Лептони – лептонний заряд, баріони – баріонний заряд і т. ін.**



Класифікація елементарних частинок

- За типами фундаментальних взаємодій :
лептони і адрони.
- **Лептони (легкі)** беруть участь тільки в **слабких та електромагнітних взаємодіях**. До групи лептонів відносять шість частинок (та їх античастинок)
- **Адрони (важкі)** - частинки, для яких основною є **сильна взаємодія**. Кількість виявлених адронів ~400. Два класи: **мезони** (піони, каони і т.ін.) та **баріони** (нуклони, гіперони).
- Переносники взаємодій: **калібровочні бозони** (до них відносять і фотони). Це цемент, яким скріплено Всесвіт.

Класифікація елементарних частинок

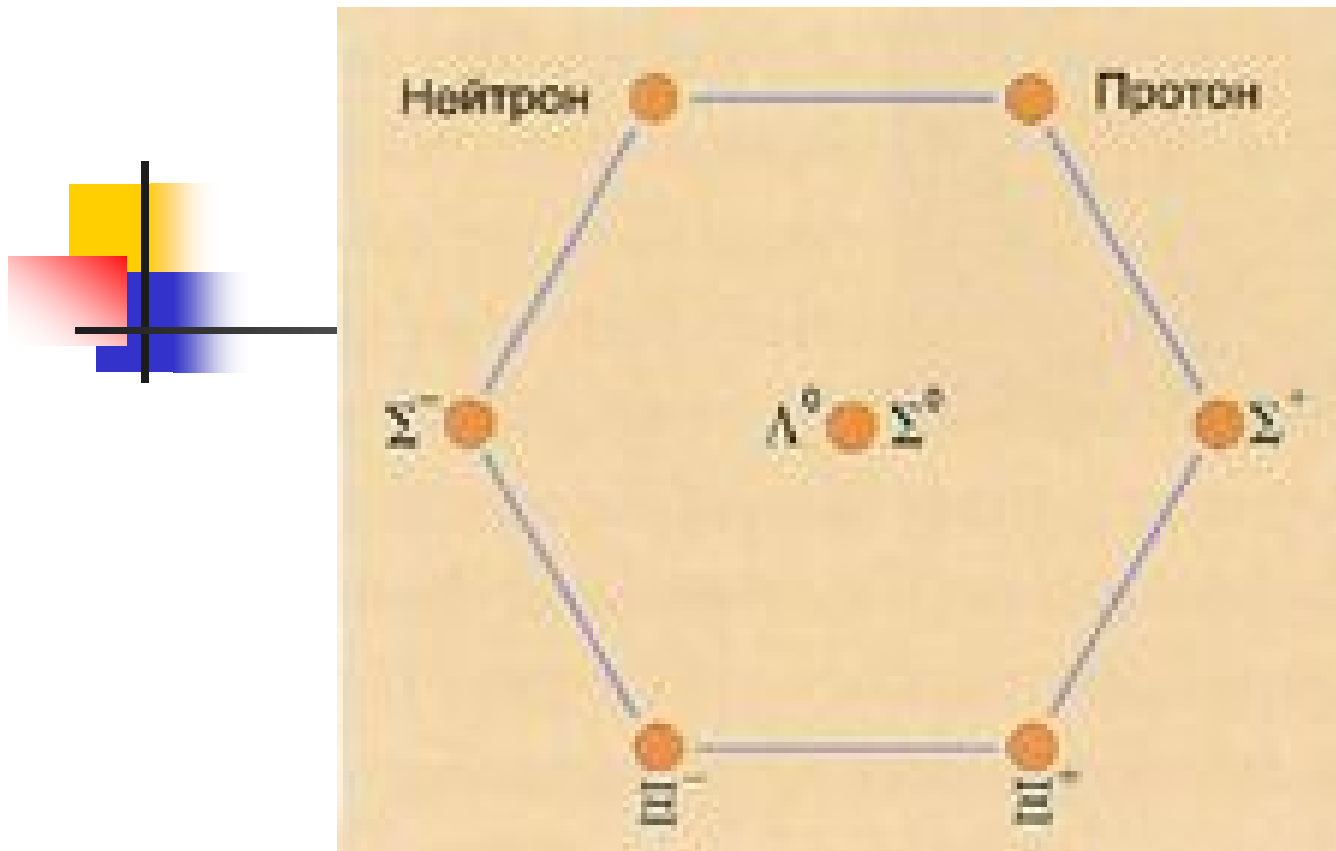
ЛЕПТОНИ

Назва частинки	спін	Маса спокою, MeV	Час життя, с	Електрич заряд, e
Електронне нейтрино ν_e	1/2	0	Стабільне	0
Електрон e^-	1/2	0,511	Стабільний	-1
Мюонне нейтрино ν_μ	1/2	0	Стабільне	0
Мюон μ^-	1/2	106,6	$2 \cdot 10^{-6}$	-1
Тау – нейтрино ν_τ	1/2	<164	Стабільне	0
Тау – лептон τ^-	1/2	1784	$3 \cdot 10^{-12}$	-1

Гіпотеза кварків

Гелл-Манн та Цвейг (1964р.)

- Використавши математичний апарат теорії груп, фізикам удалося об'єднати адрони в групи **по вісім** - два типи частинок у центрі і шість у вершинах правильного шестикутника. Така класифікація одержала назву **восьмеричний шлях**



Схематичне зображення однієї з восьмих груп адронів.

В нижньому ряду — два ксі - гіперона (від'ємно та й додатньо заряджені); в середньому ряду — три сигма - гіперона й парний нейтральному сигма - гіперону лямбда - гіперон; у верхньому ряду — нейтрон й протон.

Мюррей ГЕЛЛ-МАНН

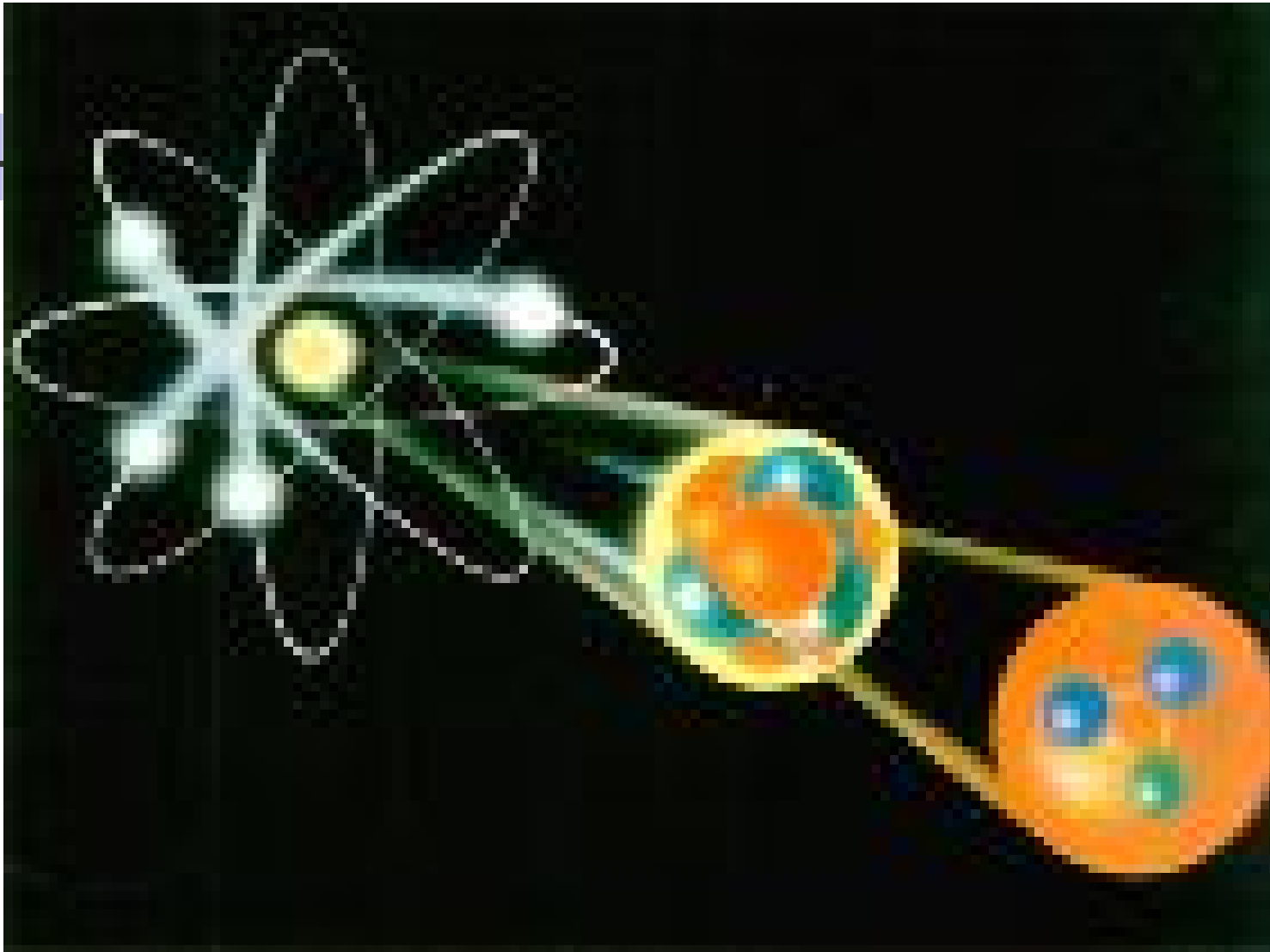
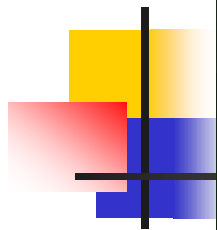


1929

**Нобелівська премія з
фізики 1969р.**

Ігнатенко В.М. ЗТФ

Американський фізик. Його книга «Восьмеричний шлях» (*Eightfold Way*, 1964), написана в співавторстві з Неєманом дозволила систематизувати елементарні частинки подібно до того, як запропонована Менделєєвим періодична таблиця допомогла у свій час упорядковано класифікувати хімічні елементи. За цю роботу і розвиток теорії кварків і субатомних взаємодій Гелл-Манн отримав Нобелівську премію з фізики за 1969 рік «За відкриття, пов'язані з класифікацією елементарних частинок та їх взаємодій»






КВАРКИ

- Спочатку кварки були трьох сортів, або, як тепер кажуть, "ароматів", **u-кварк** - "верхній", **d-кварк** - "нижній" і **s-кварк** - "дивний". пізніше до них приєднався ще один - "зачарований", **c-кварк**.
- Крім ароматів, кварки мають ще три "кольори", так що всього їх тепер стало **дванадцять** (і стільки ж антикварків).
- *Картинки на наступному слайді - фізика - А. Де-Рухула.*

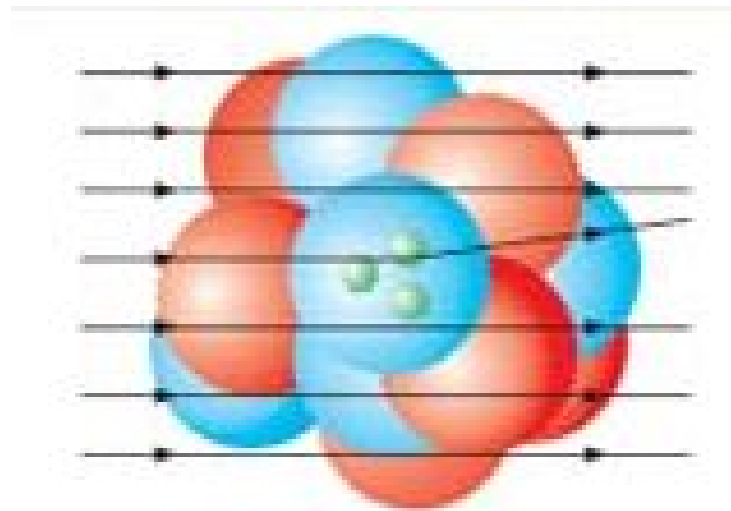
Кваркова модель адронів

Назва	Позначення	Колір (синій, зелений, червоний)	Маса спокою, MeV	Електричний заряд, e
UP (верхній)		u_c, u_z, u_r	310	+2/3
Down (нижній)		d_c, d_z, d_r	310	-1/3
Charm (зачарований)		c_c, c_z, c_r	1500	+2/3

Фундаментальні взаємодії

	Сильна	Електромагнітна	Слабка	Гравітаційна
Частинки, що взаємодіють	Кварки, нуклони	Частинки з електричними зарядами	Кварки, лептони	Усі частинки
Радіус дії сил	10^{-15} м	∞	10^{-17} м	∞
Відносна сила взаємодії	1	10^{-2}	10^{-7}	10^{-39}
Частинки – носії взаємодії	Глюони, мезони	Фотони	Проміжні бозони	Гравітони?

Експериментальні підтвердження кваркової теорії






*Розсіювання електронів
всередині ядра*

Характер розсіювання швидких електронів на протонах свідчить про наявність всередині протону трьох точкових центрів розсіювання з зарядами $1/3e$ та $+2/3e$, що повністю узгоджується з кварковою моделлю атому



НОВІ КВАРКИ

- Різноманітні експерименти, виконані на потужних прискорювачах призвели до відкриття все нових і нових мезонів, для пояснення існування яких знадобився ще один кварк, що має новий аромат - **красу (beauty)**. Більше того, теоретики впевнені у існуванні ще одного кварка, більш важкого за всі інші. Для нього навіть придумали назву **t-кварк (truth — правдивий)**

Назва	Позначення	Колір (синій, зелений, червоний)	Маса спокою, MeV	Електрич. Заряд, e
Strange (Дивний)		s_c, s_z, s_u	505	-1/3
Top Truth (Правдивий)		t_c, t_z, t_u	>2250	+2/3
Bottom beauty (красивий)		b_c, b_z, b_u	5000	-1/3

БАРІОНИ

протон (p)



Електричний заряд
 $2/3+2/3-1/3=1$

нейтрон (n)



Електричний заряд
 $2/3-1/3-1/3=0$

лямбда – баріон



Електричний заряд
 $2/3-1/3-1/3=0$

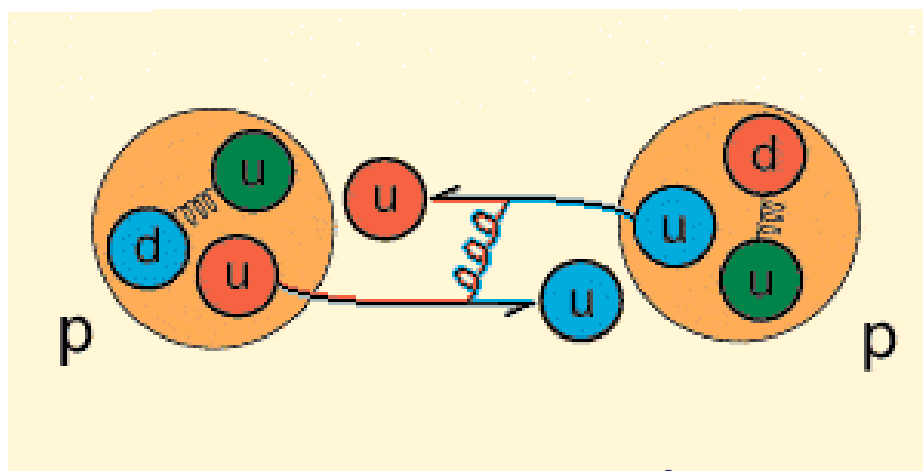
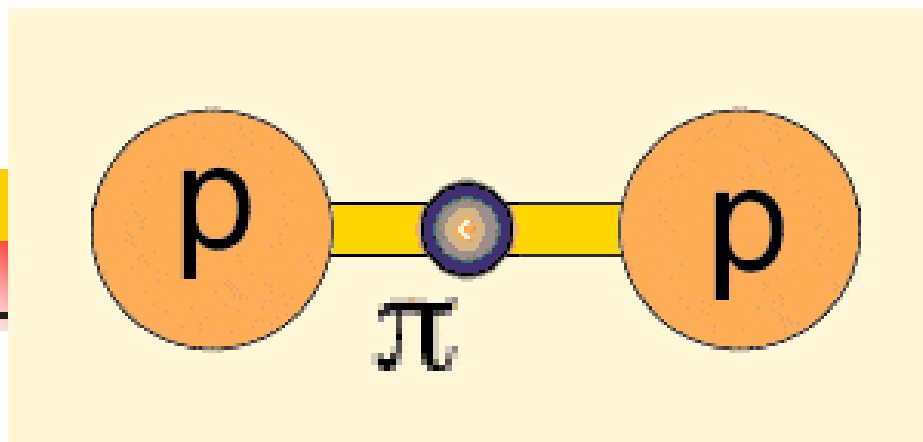
Дивність $0+0-1=-1$



Квантова хромодинаміка

- теорія сильної взаємодії

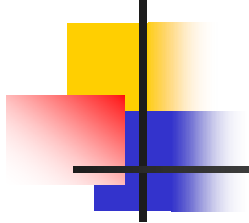
- дозволяє не тільки пояснити якісно, але й виконати розрахунки сил взаємодії між нуклонами в ядрі на основі кваркової моделі
- окремо кварки спостерігати не можна, оскільки вони взагалі не можуть перебувати у вільному, не зв'язаному один з одним усередині елементарних частинок стані. Цей феномен одержав назву **ПОЛОН** або **ув'язнення кварків**



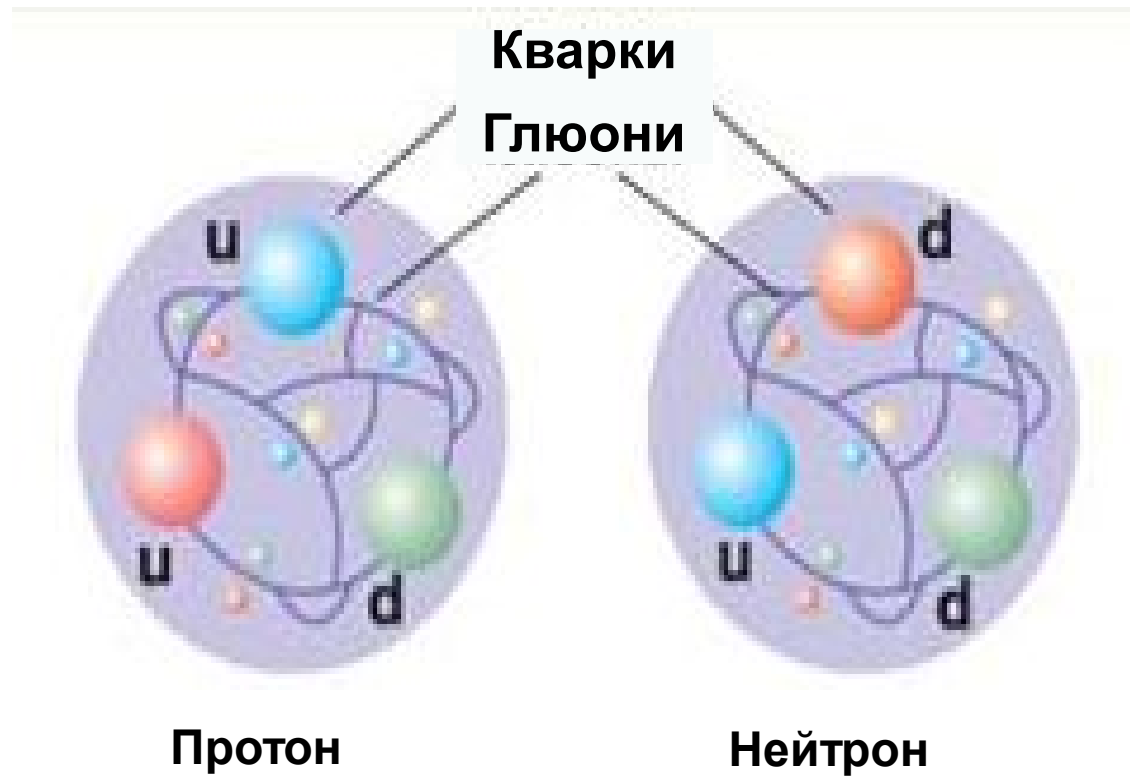
Схематичне зображення того, як ядерні сили пояснюються в КХД (зображення з сайту www.tfn.net)

Ігнатенко В.М. ЗТФ

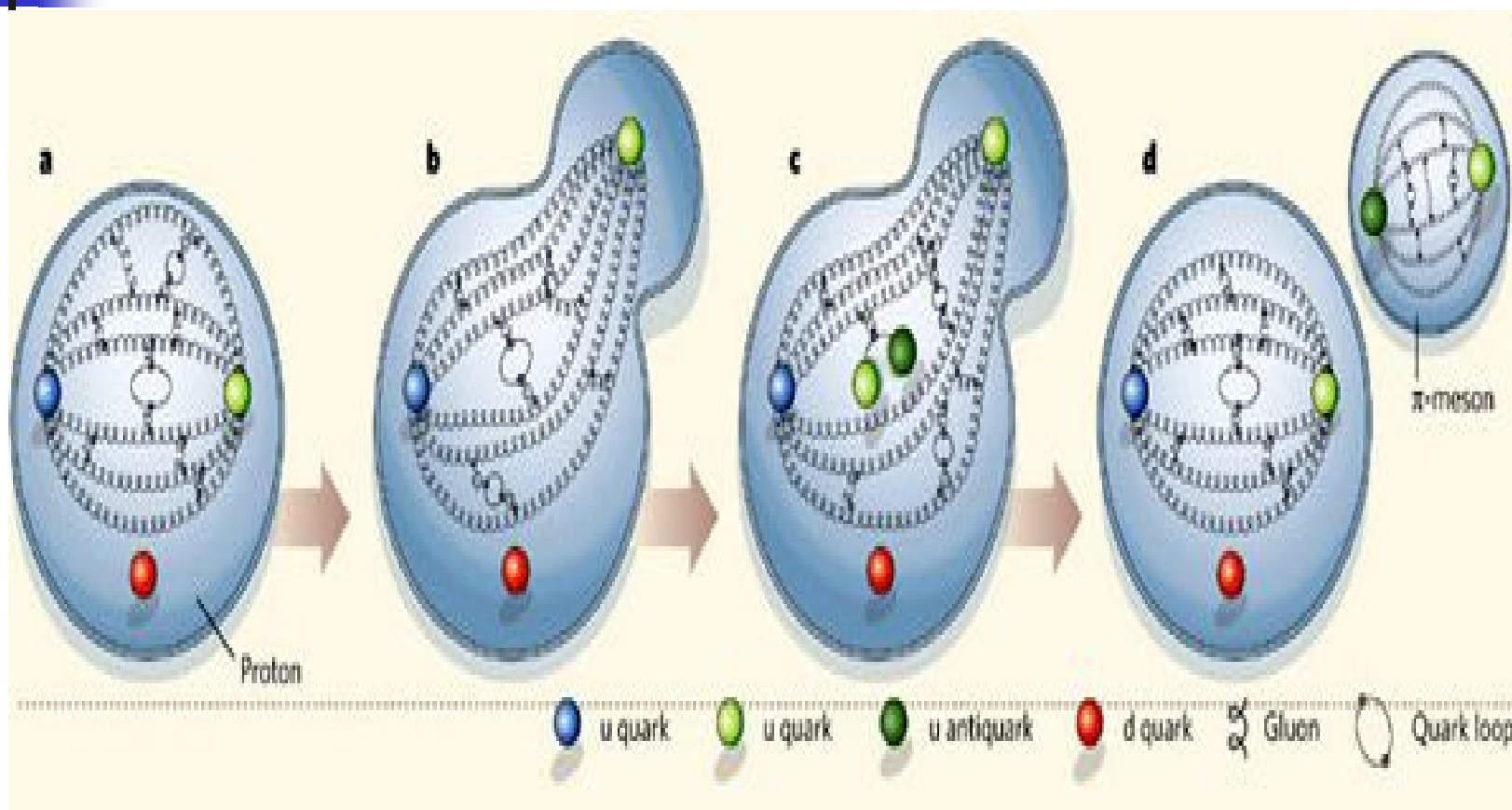
Кварки всередині нуклонів (а також усіх інших сильно взаємодіючих частинок — *адронів*) зв'язані глюонами, переносниками сильної взаємодії. Сили, що утримують нуклони ядрах, - це «вторинні» явища, сумарний результат колективних процесів кварків і глюонів

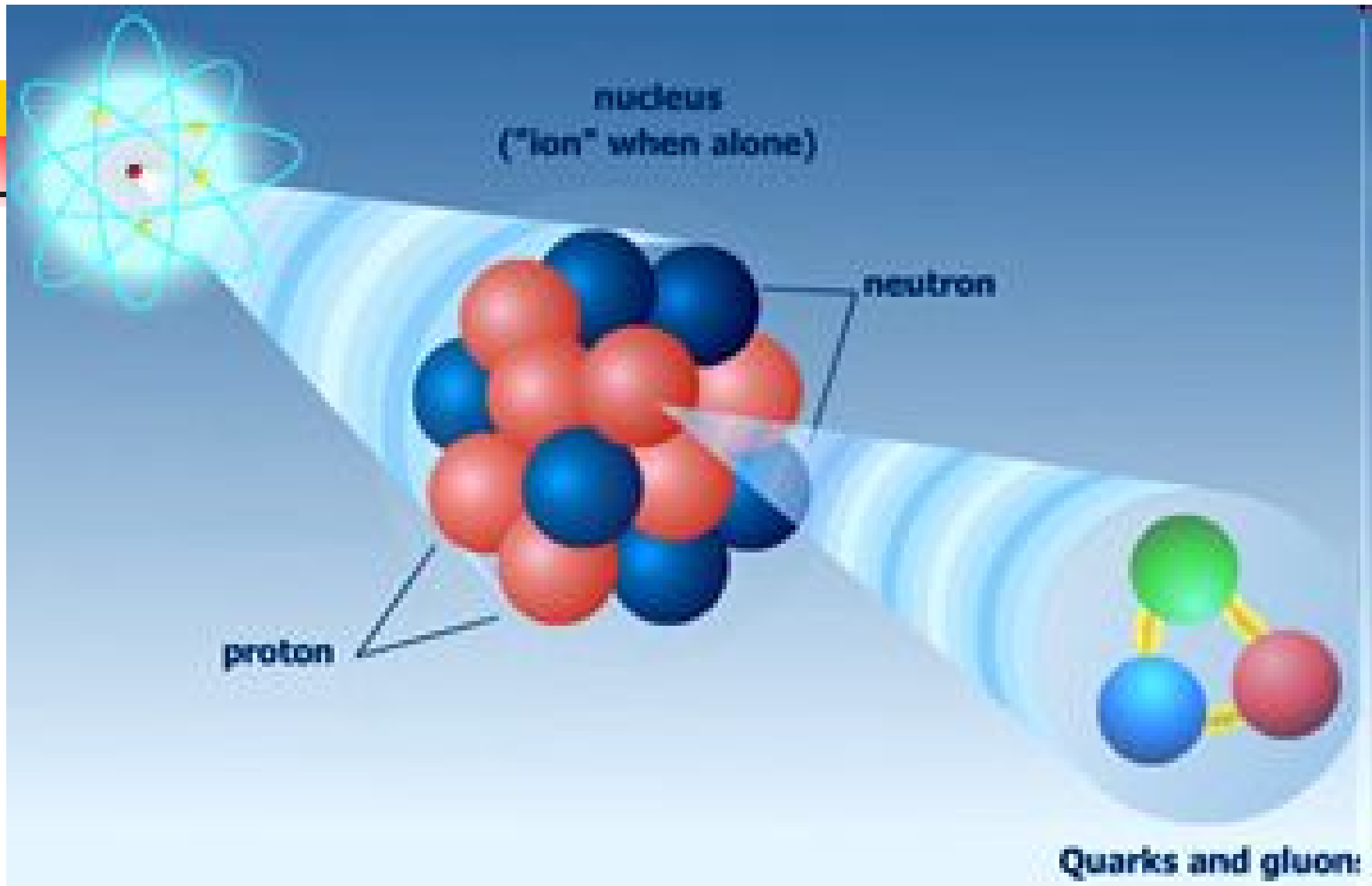


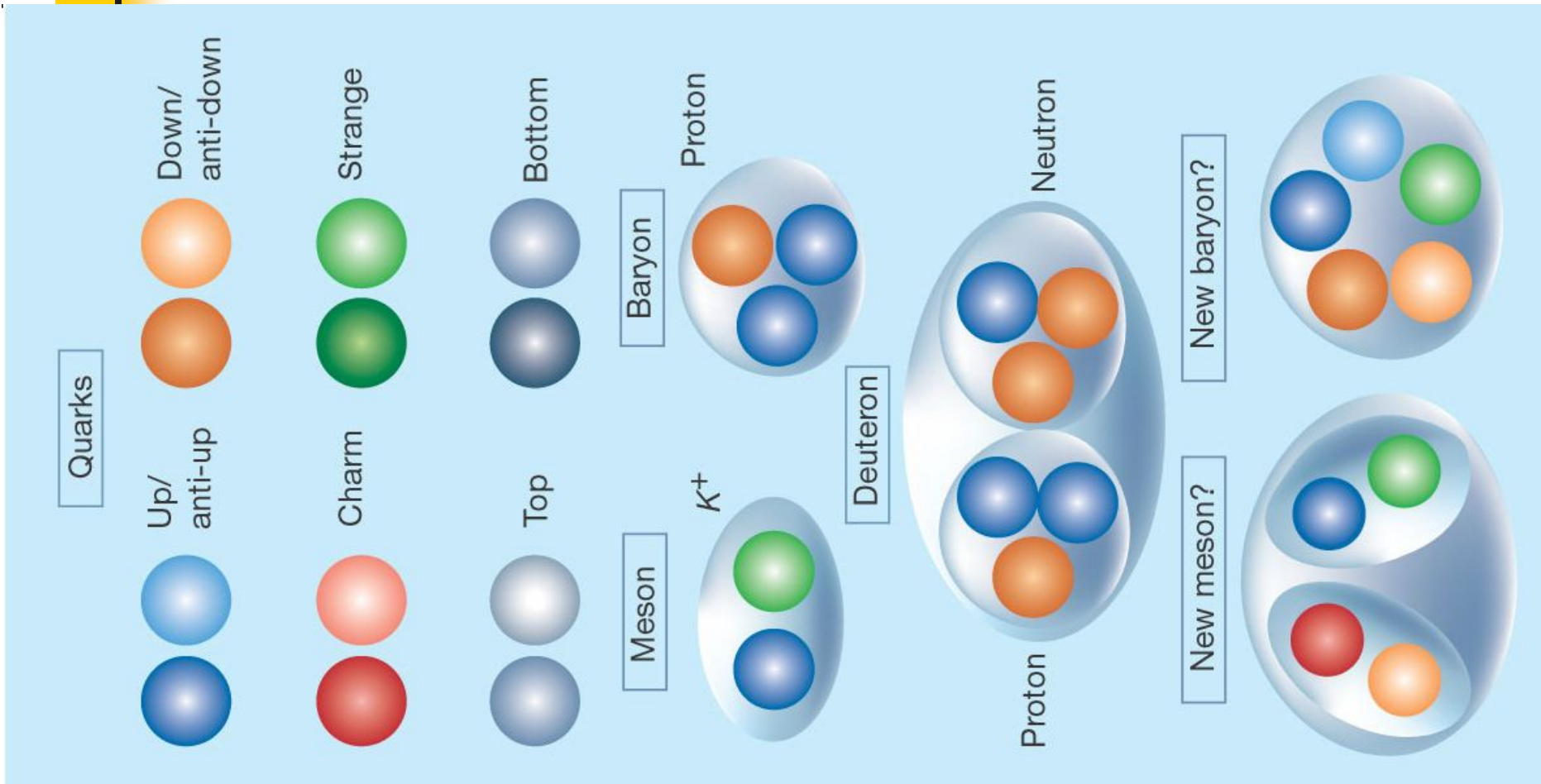
КВАРКИ

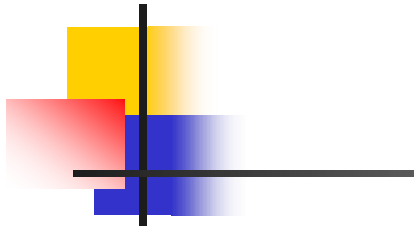


Конфайнмент

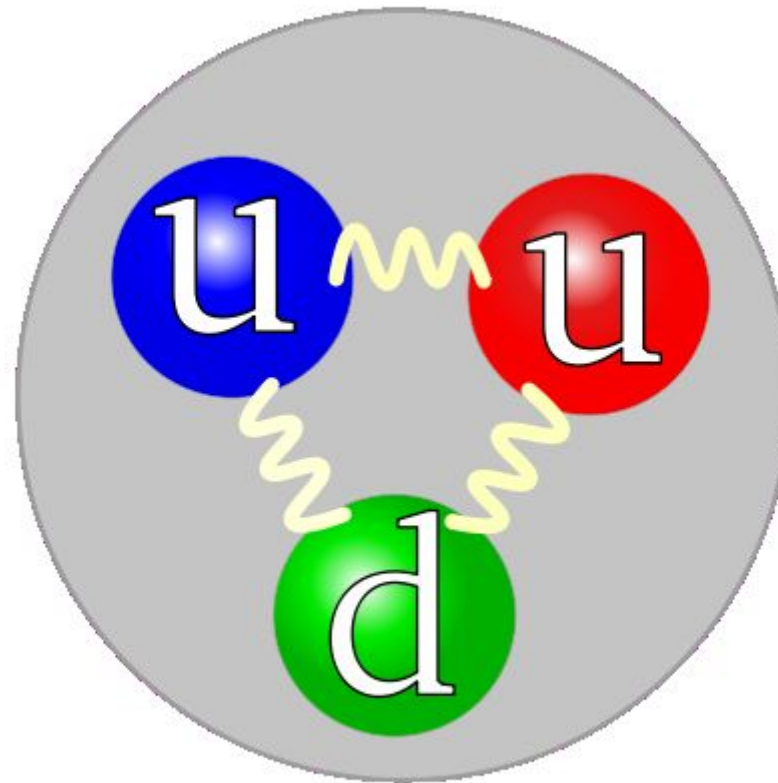




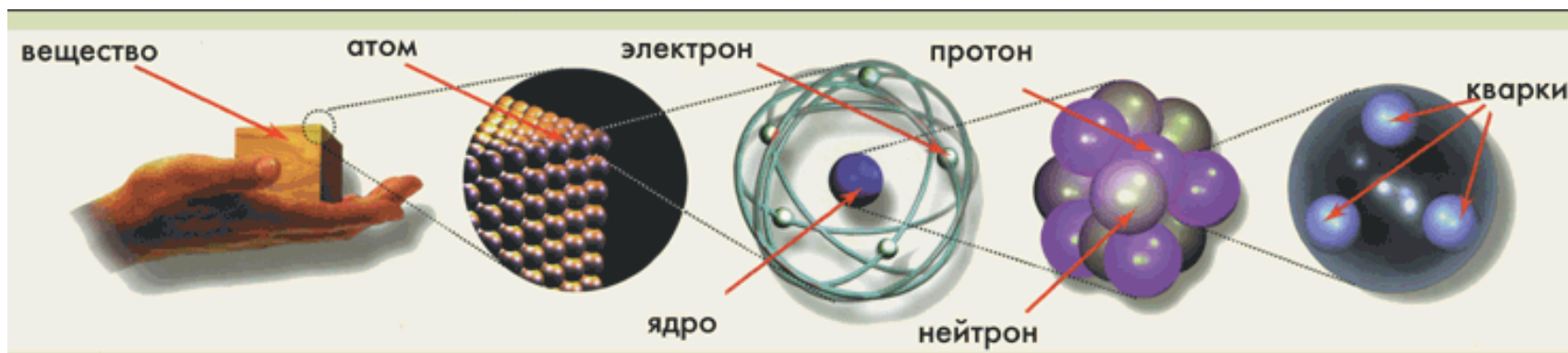




ПРОТОН



БУДОВА РЕЧОВИНИ



<p>1990 Нобелівська премія з фізики</p>	<p>Джером Фрідман, Генрі Кендалл та Річард Тейлор</p>	<p>«За піонерські дослідження глибоко непружного розсіювання електронів на протонах і зв'язаних нейтронах, істотно важливих для розробки кваркової моделі у фізиці частинок».</p>
---	---	--

<p>2004 Нобелівська премія з фізики</p>	<p>Девід Гросс, Девід Політцер та Френк Вільчек</p>	<p>«За відкриття довільності асимптотики в теорії сильної взаємодії". Це дослідження в області ядерної фізики, зокрема, прискорення частинок.</p>
---	---	--

Великий Вибух руками фізиків - ядерників: підтверджено створення кварк-глюонної плазми. **Кварк глюонна плазма** – це особливий гіпотетичний стан матерії, при якому кварки, які входять до складу адронів і які у вільному стані в сучасному Всесвіті не зустрічаються, немов би звільнюються і можуть переміщуватися по об'єму ядерної речовини і обмінюватися глюонами. Згідно до сучасних теорій, кварк-глюонна плазма існувала тільки у перші 10^{-5} с після Великого Вибуху (такий своєрідний надзвичайно гарячий та густий "суп").

(CERN, Швейцарія) та ([Brookhaven National Laboratory](#), США)

