

ФОРМУВАННЯ ПОНЯТЬ КОНСТАНТ ВЗАЄМОДІЙ У КУРСІ ФІЗИКИ

Богдан Суєь, Микола Садовий

У статті розкрито методику формування фізичного змісту констант фундаментальних взаємодій та їх роль у фізичних процесах.

In the article the method of forming of physical maintenance of constants of fundamental co-operations and their role is exposed in physical processes.

Нині у природознавстві утвердилась наукова думка, що земна природа сформована так, що їй властиві чотири фундаментальні взаємодії. Відповідно у курсі фізики середньої школи учнів ознайомлюють з відомими чотирма фундаментальними взаємодіями. Проте їхні характеристики практично не розкриваються, що не сприяє свідомому розумінню школярами явищ та процесів, особливо мікросвіту.

Із фундаментальних взаємодій гравітаційні є першими, для яких була побудована теорія Ньютона у 1687 р. До відкриття спеціальної теорії відносності (СТВ) теорія тяжіння Ньютона була загальноновизнаною і під сумнів не бралась. Це слугувало причиною створення загальної теорії відносності.

На початку ХХ ст. в зв'язку з дослідженням сил зв'язку між протонами і нейтронами та бета-розпаду в атомних ядрах були відкриті сильна та слабка взаємодії, які є близькодійчими (перевні процеси).

Варто повідомити учням, що інтенсивність взаємодій характеризується константами взаємодій – безрозмірними величинами.

Гравітаційна взаємодія найбільш слабка й у мікропроцесах майже не бере участі.

Сильна взаємодія характерна для важких елементарних частинок, існує між протонами і нейтронами і забезпечує стійкість атомних ядер. Вона обумовлює зв'язок нуклонів у ядрі. Слабка взаємодія відповідає за радіоактивне перетворення одних ядер в інші з випусканням електронів, позитронів, нейтрино. Радіус дії ядерної взаємодії 1 F. Нуклони взаємодіють внаслідок обміну мезонами, які мають час життя 10^{-23} с. За цей час мезон вилітає з одного нуклона, пролітає відстань в 1 Фермі і повертається назад, поглинається частинкою, що його породила. Якщо поблизу знаходиться другий нуклон,

то він поглинає мезон і відразу його випромінює. Інтенсивність його характеризується константою взаємодії.

Звертаємо увагу учнів, що обидві взаємодії є короткодійними, бо швидко спадають з відстанню.

Електромагнітна та гравітаційна взаємодії є далекодіючими. На відміну від електричних зарядів, гравітаційні є лише одного знака.

У методиці навчання фізики недостатньо уваги приділено способам вивчення понять полів та їх частинкам. Взаємодія частинок і полів характеризується слабкою, сильною, електромагнітною та гравітаційною взаємодіями. Їх оцінка визначає константа зв'язку (взаємодії), розмірність якої рівна електричному заряду. Інтенсивність взаємодії характеризується безрозмірним параметром, який визначається відношенням квадрата константи зв'язку до $\frac{hc}{2\pi}$.

Зміст поняття константи зв'язку (взаємодії) ми пропонуємо розглядати як параметр, який характеризує силу взаємодії частинок чи полів. Вона визначається через амплітуду розсіювання двох частинок при даних (вибраних за погодження) енергії і передачі імпульсу. Тут важливим є незалежність фізичних результатів від зміни такого погодження.

Доцільно підкреслити, що квантова електродинаміка є теорією, яка описує електромагнітні взаємодії. Для електромагнітної взаємодії константа зв'язку (взаємодії)

рівна електричному заряду частинки e , тоді стала взаємодії буде рівна $\frac{2\pi e^2}{hc} = \frac{1}{137}$. Цю

величину ще називають константою тонкої структури. Інтенсивність електромагнітної взаємодії буде порядку 10^{-2} [1, с. 309].

У шкільному курсі фізики квантова хромодинаміка розглядається як квантова теорія сильних взаємодій частинок: кварків й глюонів і поля, побудована за зразком квантової електродинаміки (квантової теорії електромагнітних взаємодій) на основі «кольорової» симетрії. В якості константи зв'язку (взаємодії) частинок і поля виступає «кольоровий заряд» кварків і глюонів g . Тоді константа взаємодії буде визначатись

$\frac{2\pi g^2}{hc} = 14$ [1, с. 309]. Безрозмірний параметр, що характеризує сильну взаємодію буде

на два порядки вище, ніж у електромагнітній взаємодії, і рівний одиниці.

Слабка взаємодія описується уніфікованою теорією бета-розпаду Е.Фермі (1934 р.), яка дістала назву універсальної локальної чотирифермієвої (взаємодія між чотирма ферміонними полями або ферміонами $p, n, e, \bar{\nu}$) слабкої взаємодії

З метою з'ясування з учнями понять симетрії ми пропонуємо з'ясувати сутність константи сильної взаємодії. В системі одиниць $\hbar = c = 1$ константа зв'язку сильної

взаємодії визначається $\alpha = \frac{2\pi G_F}{hc} \approx \frac{\hbar^2}{m_p^2 (2\pi)^2 c^2} 10^{-5}$, $\alpha = \frac{(2\pi)^3 G_F M^2 c}{\hbar^3} \approx 10^{-5}$, де G_F –

константа слабкої чотириферміонної взаємодії, m_p – маса протона [1, с. 693].

У 1957 р. М.Гелл-Ман, Р.Фейнман, Р.Маршак, Е.Сударшан запропонували теорію універсальної слабкої взаємодії, заснованої на кварковій структурі адронів [1, с. 694]. Безрозмірний параметр слабкої взаємодії має порядок 10^{-14} .

За умови $\Lambda = \sqrt{\frac{\hbar c^5}{2\pi G_F}} \approx 300 \text{ Гев}$ має місце перехід до повної симетрії електромагнітної та слабкої взаємодії.

У шкільному курсі фізики про теорію гравітаційних взаємодій мови не ведеться. Варто підкреслити, що послідовної завершеної теорії гравітаційної взаємодії ще не створено.

У системі одиниць $h = c = 1$ гравітаційна взаємодія характеризується константою зв'язку (взаємодії), яка визначається $\alpha = \frac{2\pi GM^2}{hc} \approx 3,5 \cdot 10^{-12}$, де G – гравітаційна постійна.

Безрозмірний параметр буде становити порядок 10^{-39} .

Специфічною для школярів є поняття слабкої взаємодії. Слабка взаємодія до 1967 року була мало вивчена. Вона відповідає за радіоактивність і існує між частинками зі спіном $\frac{1}{2}$, Але у ній беруть участь і частинки зі спіном 0, 1, 2 – фотони і гравітони.

А.Салам і С.Вайнберг одночасно запропонували теорію, яка об'єднала слабку і електромагнітну взаємодії, подібно тому, як сто років тому Максвелл об'єднав магнітне і електричне поля. Вони висловили ідею, що поряд з фотоном ще існує три частинки зі спіном 1, які називаються важкими бозонами і є переносниками слабкої взаємодії з масами по 100 ГеВ: W^+ , W^- , Z^0 . Теорія Салама-Вайнберга має властивості порушення симетрії, яка полягає в тому, що зовсім різні при низьких енергіях частинки, стають однією і тією ж частинкою при високих енергіях, але знаходяться у різних станах. Теорія передбачила, що при енергіях, які значно перевищують 100 ГеВ, три нові частинки і фотон повинні вести себе однаково, а при низьких енергіях частинок, за звичайних умов ця симетрія повинна порушуватись. У 1983 році W^+ , W^- , Z^0 були відкриті у ЦЕРНі. По суті це було утвердження основних фундаментальних частинок фундаментальних взаємодій, частинок, що відповідають за ці взаємодії. Вони мають свої специфічні характеристики, зокрема, кванти поля, константи, радіус, переріз, час існування, величину і відіграють зовсім іншу роль, ніж у класичній фізиці.

Основні характеристики взаємодій приведені в таблиці 1 [2, с. 175].

Таблиця 1

Основні характеристики фундаментальних взаємодій

Вид взаємодії	Кванти поля	Константи	Радіус, м	Переріз, m^2	Час, с	Величина, що зберігається
1	2	3	4	5	6	7
сильна	π -мезон K-мезон	14 1	$\sim 10^{-15}$ $\sim 10^{-16}$	10^{-28} – 10^{-31}	10^{-21} – 10^{-23}	$\Delta q=0$ $\Delta B=0$ $\Delta S=0$ $\Delta J=0$
електро-магнітна	фотони	1/137	∞	10^{-31} – 10^{-34}	10^{-18} – 10^{-20}	$\Delta q=0$ $\Delta B=0$ $\Delta S=0$ $\Delta J \neq 0$
слабка	W^+ , W^- , Z^0	10^{-14}	$\sim 10^{-24}$	10^{-42} – 10^{-45}	10^{-8} – 10^{-10}	$\Delta q=0$ $\Delta B=0$ $\Delta S \neq 0$ $\Delta J \neq 0$
гравітаційна	гравітони	10^{-39}	∞	10^{-68} – 10^{-71}	10^{17}	$\Delta S \neq 0$ $\Delta J \neq 0$

Теорія Великого об'єднання має попередню ідею. Сильна взаємодія при високих енергіях стає слабшою, ніж при низьких енергіях. Одночасно електромагнітна та слабка взаємодії при високих енергіях зростають. Тоді при досить великих енергіях ці три сили зрівнюються між собою і стають різновидами однієї і тієї сили. Теорія Великого об'єднання передбачає, що при такій енергії різні частинки зі спіном рівним $\frac{1}{2}$, (такі, як кварки і електрони) також перестануть бути різними. Значення енергії частинок для Великого об'єднання складає порядку тисячі мільйонів Гев. Прискорювачі сучасного покоління мають енергію 100 Гев.

Таким чином, формування в учнів фізичної суті понять констант фундаментальної взаємодії дає змогу з'ясувати фізичний зміст фундаментальних взаємодій на сучасному рівні.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Физический энциклопедический словарь. – М.: Советская энциклопедия, 1983. – 928 с.
2. Чолпан П.Ф. Курс физики. Методологические и философские вопросы: Учебн. пособие. – К.: Вища школа, 1990. – 208 с.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Сусь Богдан Арсенгійович – доктор педагогічних наук, професор кафедри загальної та теоретичної фізики Національного технічного університету України «КПІ».

Садовий Микола Ілліч – доктор педагогічних наук, професор кафедри фізики та методики її викладання Кіровоградського державного педагогічного університету імені Володимира Винниченка.

Наукові інтереси: проблеми дидактики фізики.