

Систематичне використання цих узагальнених планів діяльності сприяє формуванню в учнів не тільки поняття про фізичну величину – компонент змісту шкільного курсу фізики, а й пізнавальні та практичні вміння.

Підвищенню активності учнів, усвідомленій їхньої участі під час вивчення фізичних величин, спрямованості навчання фізиці на розвиток особистості тих, хто навчається, сприятиме введення на вступних уроках фізики в 7 класі відомостей про даний компонент змісту шкільного курсу фізики та відповідних систем дій [4].

Зміст поняття "фізична величина", узагальнені плани діяльності з вивчення груп фізичних величин, зміст перших уроків фізики – предмети розгляду в загальній методиці навчання фізики.

Відсутність аналогічних питань, пов'язаних з викладанням у школі інших компонентів змісту курсу фізики, як показує досвід роботи, викликає труднощі в студентів в усвідомленому плануванні відповідних систем уроків, створює невпевненість у правильному виборі систем дій вчителя та учнів.

#### БІБЛІОГРАФІЯ

1. Каленик В.И. Интеграция идей организации процесса обучения в общеобразовательной школе. – Сумы: МКИПП "Мрия", 1992.
2. Каленик М.В. Логіка вивчення "питомих" фізичних величин в 7–8 класах /Методичні особливості викладання фізики на сучасному етапі: Науково-методичний збірник Ч. 1,2. – Кіровоград: КДПУ ім. В.Винниченка, 1998: Ч.1. – С. 97–99.
3. Каленик М.В. Узагальнений план вивчення видів сил у 7 класі /Вісник Чернігівського державного педагогічного університету ім. Т.Г.Шевченка: Вип. 13. Серія: Педагогічні науки: Збірник. У 2-х т. – Чернігів: ЧДПУ, 2002. – № 13. – Т.1. – С. 50–59.
4. Каленик М.В. Перші уроки фізики в загальноосвітній школі /Збірник наукових праць: Спеціальний випуск. – К.: Науковий світ, 2003. – С. 154–159.
5. Каленик М.В. Практична спрямованість методики навчання фізики – навчального предмета /Матеріали ІХ Всеукраїнської наукової конференції "Фундаментальна та професійна підготовка фахівців з фізики". Укладачі Шут М.І., Січкара Т.Г. – К.: НПУ, 2004. – С.29.

#### ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРА

**Каленик Михайло Вікторович** – доцент кафедри фізики Сумського державного педагогічного університету ім. А.С.Макаренка, кандидат педагогічних наук  
*Наукові інтереси:* ефективність викладання фізики в загальноосвітній школі.

## ВИВЧЕННЯ У ШКІЛЬНОМУ КУРСІ ПОНЯТЬ ПРО ЧАСТИНКИ ТА ЇХНІ ВЗАЄМОДІЇ

**Тетяна КАЛЕННИКОВА, Олена ТРИФОНОВА, Микола САДОВИЙ**

Стаття присвячена проблемі вивчення у середній школі понять про частинки і їхні взаємодії.

The article is devoted to the problem of study at secondary school of concepts about particles and their co-operations.

У курсі фізики середньої школи все різноманіття явищ, які мають місце у Всесвіті на всіх її рівнях – мікросвіт, жива природа, зірки, галактики, визначаються чотирма взаємодіями. Дві з них відомі з класичної фізики – це гравітаційна та електромагнітна. Ядерна – сильна та слабка – є короткодійними й не впливають не тільки на рух макроскопічних тіл, а й на рух і властивості атомів та молекул. Вони виявляються лише в ядерних явищах та в перетвореннях елементарних частинок. У шкільному курсі фізики ці взаємодії майже не розглядаються. Такий підхід склався з огляду на складність навчального матеріалу про будову та взаємодію у мікросвіті. Ми вважаємо, що це пояснюється насамперед відсутністю ґрунтовних методичних досліджень з цієї

проблеми й пропонуємо ознайомити учнів з основними властивостями цих взаємодій на основі узагальнень.

Слабка взаємодія – це особлива взаємодія, яка виявляється у всіх процесах, у яких бере участь нейтрино. Таке відбувається при захопленні нейтрино ядрами, при бета-розпаді, при розпаді  $\pi^+$ ,  $\pi^-$  мезонів і мюонів.

Силу взаємодії двох частинок можна охарактеризувати потенціальною енергією при їхньому зближенні на деяку відстань. Це добре відомо школярам. Проте, в чому полягає суттєва відмінність між ними, мало розглядається. Щоб розрізнити їх, ми пропонуємо порівняти енергію сильної, слабкої, електромагнітної та гравітаційної взаємодій двох протонів на відстані  $r \approx 10^{-15}$  м. На такій відстані сильна взаємодія виявляється повною мірою. Для електромагнітної взаємодії ця енергія становить  $\sim 1$  МеВ, сильної  $\sim 50$  МеВ, для слабкої  $\sim 10^{-6}$  МеВ, для гравітаційної  $\sim 10^{-30}$  еВ. Співвідношення між цими взаємодіями становить  $1:10^{-2}:10^{-14}:10^{-38}$  еВ. Такий підхід дає наочне уявлення про енергетичні критерії класифікації взаємодій. Із всіх взаємодій універсальною є гравітаційна взаємодія – всесвітньому тяжінню підвладні всі частинки без винятку.

Важливу роль у фізиці мікросвіту відіграє уявлення про час, який характерний для того чи іншого явища. У шкільному курсі фізики такий час визначається імпульсом сили. Для сильної взаємодії оцінка цього масштабу здійснюється через ядерні зіткнення швидких частинок, які мають швидкість сумірну з швидкістю світла. За відомим радіусом дії цих сил та швидкістю взаємодії час взаємодії становить  $r/c \sim 10^{-22} - 10^{-22}$  с. Це означає, що при розпаді за сильної взаємодії час такого розпаду буде цього ж порядку. Якщо “сильні розпади” за певних умов не здійснюються, і частинка розпадається під дією електромагнітних сил, то час життя лежить у межах  $\sim 10^{-16} - 10^{-20}$  с. Для слабких розпадів відповідний час становить  $\sim 10^{-8} - 10^{-13}$  с. Тому частинки, які розпадаються лише завдяки слабким взаємодіям, є довгожителами.

У підручнику С.У.Гончаренка частинки розподіляють на класи за характером взаємодій: фотон має електромагнітну взаємодію; лептонам, електронам, мюонам, нейтрино і їх античастинкам властива слабка взаємодія. Проте не вказується, що вони підкоряються й електромагнітній взаємодії; адрони – сильно взаємодійні частинки. Їм властиві всі чотири взаємодії, що не підкреслено в підручнику. За таких умов в учнів створюється уявлення про чотири “чистих” взаємодії. Доцільно розглянути з учнями, що ж лежить в основі взаємодій. Першу групу частинок становлять мезони – сильно взаємодійні частинки кванти ядерного поля. Другу групу становлять баріони-нуклони, які мають баріонний заряд. Найлегші баріони – нейтрон і протон.

Адрони-баріони – частинки, беруть участь у сильних взаємодіях. Час їхнього життя  $\sim 10^{-23}$  с. Але є адрони з часом життя  $\sim 10^{-8} - 10^{-13}$  с. Розпади цих частинок, що довго живуть, зумовлюються слабкими взаємодіями.

Класифікацію адронів здійснюють за їхніми квантовими числами: маса, електричний заряд, спін, магнітний момент, час життя, значення баріонного заряду. Баріонні та електричні заряди – це єдині заряди, які характеризуються сильнодійними частинками. Нові заряди називали ароматами, чарівними і т.д. У 50-х роках минулого століття з уведенням нового квантового числа – странність – відкрили странні частинки.

У методиці фізики середньої школи тільки згадується нині визнана в науковому світі кваркова модель будови адронів. Ми вважаємо, що доцільно ознайомити учнів зі спрощеною моделлю адронів. До основних положень цієї моделі ми віднесли:

1. Адрони не можна розглядати як елементарні частинки в прямому розумінні цього слова. Вони мають складну внутрішню структуру й складаються з істинно елементарних частинок. Структурні елементи адронів назвали кварками.

2. Систематика адронів уможливила зобразити відомі баріони з трьох кварків і антибаріони – антикварків.

3. Існує не менше 6 типів кварків, кожен з яких є носієм певного нового квантового числа – адронного аромату.

4. Сильні та електромагнітні взаємодії не можуть змінювати індивідуальність кварків, вони не змінюють значення кваркових ароматів. У процесах, які зумовлюються сильними та електромагнітними взаємодіями, можуть проходити просто перегрупування кварків або утворення знищення кварк-антикваркових пар з певними ароматами, або і одне й інше.

5. Слабка взаємодія відіграє у природі унікальну роль – вони змінюють індивідуальність кварків.

Після розгляду з учнями кваркової моделі не становлять труднощі розкрити процеси утворення й розпаду адронів. Відповідно до кваркової моделі з частинками здійснюються різні адронові реакції. Наприклад: утворення  $\pi$ -мезонів у нуклон-нуклонних взаємодіях  $n+p \rightarrow n+n-\pi^+$ . В кварковій моделі цю реакцію слід записати таким чином:  $[udd]+[uud] \rightarrow [udd]+[udd]+[ud]$ .

Другий приклад: утворення баріонів і антибаріонів  $\pi^-+P \rightarrow \pi^-+P+P+P$ . У кварковій моделі має місце процес  $[du]+[uud] \rightarrow [du]+[uud]+[uud]+[uud]$ . Утворення  $uu$ -пар і однієї  $dd$ -пари, які потім згрупувались у протон та антипротон.

Для прикладу можна розглянути реакцію утворення дивних частинок.  $[ud]+[uud] \rightarrow [uus]+[su]$ , що зводиться до анігіляції  $dd$ -пари і до народження  $ss$ -пари. Така реакція є дозволеною. При цьому випадку два  $s$ -кварки повинні перейти у два  $u$ -кварки. Згідно з основними положеннями кваркової моделі, такі процеси не можуть проходити в сильних та електромагнітних взаємодіях, у яких аромати зберігаються. Такі реакції ніде не спостерігалися в експериментах, тобто маємо нібито “гру в кубики” згідно з правилами кваркової моделі.

В останні роки в багатьох сильних та електромагнітних процесах при високих енергіях спостерігаються події спільного утворення чарівних і чудових адронів. Розпад таких частинок зумовлений слабкими взаємодіями й характеризуються часом життя  $10^{-12}$ – $10^{-13}$  с. За цей час частинка встигає пролетіти малу відстань навіть при релятивістському зростанню часу життя (порядку декількох міліметрів). Для реєстрації таких частинок потрібні досконалі детектори. В експериментах у бульбашкових камерах удалося спостерігати парні утворення чарівних частинок  $D^0$ -мезона і  $\bar{D}^0$ -мезона в супроводі інших адронів (в основному  $\pi$ -мезонів):  $\pi^-+p \rightarrow D^0+\bar{D}^0$  інші частинки. З погляду кваркової моделі реакція зводиться до утворення деякої кількості кварк-антикваркових пар,  $s$ -кварків, які потім групуються й у тому числі і пари  $ss$   $D^0$  і  $\bar{D}^0$ -мезони та додаткові адрони. Вчені помітили, що при високих енергіях у процесі співударів може спостерігатися утворення великої кількості кварк-антикваркових пар, які потім виявляються в утворенні великої кількості адронів.

Кваркові аромати не є строго зберігальними квантовими числами. Вони можуть змінюватися в слабких взаємодіях. Тому слабкі розпади адронів зумовлені переходами кварків з одними ароматами в кварки з іншими ароматами. Наприклад, розглядається розпад странных  $\Lambda$ -гіперонів по каналу  $\Lambda \rightarrow p+\pi^-$ . Цей процес на мові кварків описується в два етапи. Слабка взаємодія приводить до переходу  $s \rightarrow u$ , в якому  $s$ -кварк перетворюється в  $u$ -кварк з іншим ароматом. Виникає також слабка утворення кварк-антикваркової пари  $\bar{d}u$  з різними ароматами кварків. Перший етап гіперонного розпаду

зводиться до “слабкого” переходу  $s \rightarrow u + d + \bar{u}$ . На другому етапі завдяки уже сильній взаємодії проходить перегрупування кварків з утворенням двох адронів – протона і  $\pi^-$ -мезона. Цей приклад показує, що сильна взаємодія також відіграє певну роль у слабких розпадах адронів, здійснюючи утворення сильнодійних частинок у кінцевому стані.

Інший приклад. Розглянемо  $\beta$ -розпад нейтронів  $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$ . Слабка взаємодія викликає тут перехід d-кварків у u-кварки з утворенням лептонів  $e^-$  і  $\bar{\nu}_e$ .

$d \rightarrow u + e^- + \bar{\nu}_e$ ,  $[udd] \rightarrow [uud] + e^- + \bar{\nu}_e$ . Звідси робимо висновок, що слабкі сили змінюють індивідуальність не тільки кварків, а й лептонів, створюючи пару лептонів різних типів.

Не завадить ознайомити учнів, що в останні роки значних успіхів наука досягла у вивченні лептонів - частинок, які володіють слабкою та електромагнітною взаємодією. Крім двох пар лептонів електрон – електронне нейтрино та мюон-мюонне нейтрино, було відкрито ще один найбільш важкий заряджений лептон – тау-лептон. Поряд з  $\tau$ -лептоном напевно повинне існувати ще одне нейтрино – тау-нейтрино, яке ще не спостерігали. Лептони поряд з кварками, очевидно, є істинно елементарними частинками. У лептонів є квантове число, яке не змінюється – лептонний заряд. Нині відомо три лептонних заряди: електронний (в електронів і електронних нейтрино  $l_e = +1$ , в античастинок  $e^+, \bar{\nu}_e$   $l_e = -1$ , в усіх інших частинок  $l_e = 0$ ).

У мюонів  $\mu^-$  і мюонних нейтрино  $\bar{\nu}_\mu$  мюонний лептонний заряд  $l_\mu = +1$ , у відповідних анти-лептонів  $\mu^+, \bar{\nu}_\mu$   $l_\mu = -1$  у всіх останніх частинок  $l_\mu = 0$ .

Для тау-лептона  $\tau^-$  і тау-нейтрино  $\bar{\nu}_\tau$   $l_\tau = +1$ . У анти-тау-лептонів ( $\tau^+, \bar{\nu}_\tau$ )  $l_\tau = -1$ , у всіх інших частинок  $l_\tau = 0$ .

У 1982–1983 роках були відкриті проміжні бозони  $W^\pm$  і  $Z^0$ -частинки. Це найважчі частинки, які створені в умовах лабораторії на прискорювачі – накопичувачі із зустрічними протон-антипротонними пучками при енергії кожного з пучків, що зустрічаються, у 270 ГеВ (зараз ця енергія збільшена до 450 ГеВ). Відкриття бозонів привело до висновку, що слабка та електромагнітна взаємодії, незважаючи на нібито відмінність є виявом однієї і тієї ж взаємодії, яку назвали електрослабкою. Нині проводиться робота із створення єдиної теорії сильної, слабкої та електромагнітної взаємодії. Таке уявлення вступає у суперечність з розділенням фундаментальних частинок на кварки, що мають сильну взаємодію і лептони, які такою взаємодією не володіють.

#### БІБЛІОГРАФІЯ

1. Коккеде Я. Теория кварков. – М.: Мир, 1971. – 341 с.
2. Рекало М.П. Современные представления о структуре адронов//Очерки по истории развития ядерной физики в СССР. –К.: Наук. Думка, 1982. – С. 168–182.

#### ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

**Каленникова Тетяна Олександрівна** – доцент кафедри фізики та методики її викладання КДПУ ім. В. Винниченка, кандидат фізико-математичних наук.

*Наукові інтереси:* методика навчання фізики в середніх і вищих навчальних закладах.

**Трифонов Олена Михайлівна** – пошукувач кафедри фізики та методики її викладання КДПУ ім. В. Винниченка.

*Наукові інтереси:* проблеми викладання квантової фізики в загальноосвітній та вищій школі.

**Садовий Микола Ілліч** – професор КДПУ ім. В. Винниченка, доктор педагогічних наук.

*Наукові інтереси:* дидактика фізики.