

### *Аннотація*

*В статті проведено аналіз еволюції впровадження задачного підходу на уроках фізики і теоретично обґрунтовано необхідність технологічної реконструкції навчання розв'язуванню задач як передумови розвитку профільної школи.*

*На основі проведеного аналізу запропоновано засоби навчання для проектування навчальної діяльності учнів на уроках фізики.*

**Ключевые слова:** *задачный подход, педагогическая технология, дифференциация, профильное обучение, средства обучения.*

### *Annotation*

*The analysis of the evolution of implementation of task-oriented approach at Physics lessons and theoretical necessity of technological reconstruction of teaching solving problems as prerequisite for specialized development are held in the article.*

*Based on the analysis, learning tools of designing learning activities of students at Physics lessons are proposed.*

**Keywords:** *task-oriented approach, educational technology, differentiation, profession-oriented education, learning tools.*

УДК 371. 5.16:53

**Трифонов О. М.**  
**Кіровоградський державний педагогічний університет**  
**імені Володимира Винниченка**

## **ВИВЧЕННЯ ТЕОРІЯ МАТЕРІЇ У ШКІЛЬНОМУ КУРСІ ФІЗИКИ**

*В статті запропонований матеріал щодо спроб оцінити з точки зору освітніх вимірювань становлення та розвиток сучасних теорій будови матерії, теорії всього.*

**Ключові слова:** *освітні вимірювання, теорія всього, фундаментальні взаємодії, теорія матерії.*

Освітні вимірювання в контексті поліпшення якості освіти все більше знаходять своє відображення у науково-методичних дослідженнях. Особливого значення вони набувають, коли розглядаються фундаментальні, зокрема, фізичні теорії. З'ясувати їх сутність, знайти критерії їх оцінки є важливою педагогічною та методичною проблемою. До таких проблем відноситься оцінка фізичних теорій. Наші дослідження привели до висновку, що видатні вчені минулого століття Дж. Максвелл, Г. Вейль, Е. Шредінгер, І. Тамм, А. Ейнштейн широко користувались своєрідними аналітичними підходами, які нині одержали назву "освітні вимірювання".

Аналіз досліджень з даної проблеми показав, що вивченню організації освітніх вимірювань присвячували свої роботи В. Аванесов, Ю. Белявский, С. Раков, Н. Кобзева, М. Зелман, Л. Дворецька та ін. [1; 2; 3].

**Мета статті** полягає у спробі оцінити з точки зору освітніх вимірювань становлення та розвиток сучасних теорій будови матерії.

У науковій літературі нерідко використовується термін "теорія всього" (англ. Theory of everything). Ми дослідили зміст поняття і прийшли до висновку, що вказаний термін має ознаки гіпотетичної об'єднаної фізико-математичної теорії. Основна мета теорії

описати всі відомі фундаментальні взаємодії. Історично склалось, що спочатку даний термін використовувався в іронічному значенні для позначення різноманітних узагальнених теорій. З часом термін закріпився в літературі для популяризації квантової фізики та позначення теорії, яка б об'єднала всі чотири фундаментальні взаємодії природи. Проте у науковій літературі все ж домінує термін “єдина теорія поля”.

З часів І. Ньютона двадцяте століття було найбільш результативним у наукових відкриттях. Фізика поступово опанувала квантовою механікою, було досліджено співвідношення класичного та квантового у природних явищах. Закономірно запропоновано і велику кількість “теорій всього”, але жодна з них не змогла пройти належну дослідну перевірку. Таке пояснюється тим, що є значні ускладнення в організації експериментальної їх перевірки. Існуюча інструментальна база дослідних перевірок майже вичерпала себе. Основна теоретична проблема побудови наукової “теорії всього” полягає в тому, що квантова механіка і загальна теорія поля мають різні сфери застосування. Квантова механіка в основному використовується для опису мікросвіту, а загальна теорія пояснює закономірності макросвіту. Варто пояснити учням, що спеціальна теорія відносності описує явища за великих швидкостей і відноситься до класичної фізики. Як і загальна теорія відносності вона є узагальненням ньютонівської теорії гравітації. Об'єднання двох фундаментальних теорій сучасної фізики квантової теорії і загальної теорії відносності у рамках єдиного теоретичного підходу є однією з найважливіших проблем. Примітно, що ці дві теорії, узяті разом, охоплюють майже всю суму людських знань про найбільш фундаментальні взаємодії у природі.

Освітні вимірювання ще не знайшли свого відображення у чинних підручниках, методичних посібниках, в них не наводяться суперечності наукових досягнень, а наукові відкриття описуються як факти. Такий підхід, на нашу думку, не сприяє покращенню якості освіти, не показує учням, що переконливий успіх цих двох теорій полягає в тому, що разом вони можуть пояснити поведінку матерії практично в будь-яких умовах – від внутрішньоядерної – до космічної області. Поряд з цим є великою загадкою несумісність вказаних теорій. До цього часу незрозуміло, чому природа на своєму найглибшому і фундаментальному рівні повинна вимагати двох різних підходів з двома наборами математичних методів, двох наборів постулатів і двох наборів фізичних законів. В ідеалі доцільно мати Єдину теорію поля, що об'єднує вказані фундаментальні теорії. Проте спроби їх об'єднати постійно зазнають невдачі через появу нескінченності, розходжень або порушення частини найважливіших фізичних принципів. Об'єднати ці дві теорії вдалося гіпотетично лише у рамках теорії струн і суперструн [4].

Спроби безпосереднього поєднання квантової механіки і спеціальної теорії відносності в єдиному формалізмі – квантовій релятивістській теорії поля приводить до проблеми “розходження” у визначенні кінцевих результатів для величин, що експериментально перевіряються. Для вирішення означеної проблеми вчені намагаються запровадити нові фізичні величини. Зокрема, для частини моделей успішно використовується механізм перенормувань, який дозволяє використати добре зарекомендовані теорії. Проте, коли доходить до гравітації, включення в таку теорію загальної теорії відносності, як граничного випадку для малих полів і великих відстаней, маємо випадок “розходження”. Розв'язати таку суперечність поки що не вдається. З цього зовсім не виходить, що така теорія не може бути побудована. У свій час М. Боголюбов розвинув загальну теорію усунення розходжень, але не до кінця. Так у квантовій електродинаміці у взаємодії електронів з віртуальними фотонами вакууму розглядаються розходження, які усуваються за допомогою процедури перенормування. В результаті маса електрона, що стоїть в лагранжії електромагнітної взаємодії, відрізняється від експериментально спостережуваної маси. Не дивлячись на певні математичні проблеми,

пов'язані з подібною процедурою, квантова електродинаміка все ж дозволяє з високою точністю пояснити такі факти як аномальний дипольний момент лептонів і надтонку структуру лептонних дуплетів, наприклад, у мюонію і позитронію.

Важливо здійснити оцінку фундаментальності теорій і сформувані в учнів уявлення, що фундаментальні динамічні теорії істотно відрізняються від фундаментальних статистичних теорій тільки в одному відношенні – в способі визначення стану. Науковці досить часто аналізують поняття стану в різних динамічних теоріях і звертають увагу на загальну структуру цих теорій. Аналогічні висновки впливають і з квантової механіки. Це є однією з причини, коли ряд авторів не відносять квантову механіку до чисто статистичних теорій. Насправді ж і класичні статистичні теорії мають таку ж загальну структуру, як і динамічні. Тому на нашу думку в профільних класів середніх навчальних закладів необхідно запровадити освітні вимірювання поняття стану в класичних статистичних теоріях, оскільки з поняттям стану в цих теоріях пов'язано найбільше число непорозумінь. У цьому відношенні, як це не дивно, з квантовою механікою набагато зрозуміліше.

Успіх загальної теорії відносності є незаперечним. Але в науковому співтоваристві існує і певне її несприйняття. Це пов'язано з наступними двома проблемами:

- дану теорію не вдається переформулювати як класичну межу квантової теорії;
- сама теорія вказує межі своєї застосовності, оскільки передбачає появу фізичних розходжень, які неможливо усунути, коли розглядаються чорні діри, сингулярності простору-часу тощо.

Тому не випадково для вирішення цих проблем було запропоновано альтернативні теорії, частина з яких також є квантовими. Все ж експериментальні освітні вимірювання, вказують, що будь-якого типу відхилення у таких теоріях мають бути дуже малими, якщо вони взагалі існують.

Оцінка Дж. Максвеллом явищ електрики, магнетизму і оптики в кінці XIX століття привела до побудови електродинаміки [1]. Таке об'єднання здійснено на основі рівнянь Максвелла в єдиній теоретичній схемі. Закономірно у фізиці виникла ідея: пояснити на основі електромагнетизму всі відомі фізичні явища. У цей же час була створена загальна теорія відносності. Наукова оцінка досягнень відразу привела фізиків до думки, що для опису на єдиній основі всіх фізичних явищ необхідно об'єднати насамперед теорії електромагнетизму і гравітації.

Перші варіанти єдиних теорій поля були створені Д. Гільбертом і Г. Вейлем [5]. Надалі велику увагу “теорії всього” приділив А. Ейнштейн. Велику частину свого життя на її створення витратив І. Тамм. Д. Гільберт, Г. Вейль і, надалі, А. Ейнштейн оперували двома вимірниками і вважали, що досить об'єднати загальну теорію відносності з теорією Максвелла, і проблема буде вирішена. Спочатку не малося на увазі, що вони мають бути квантовими, оскільки сама квантова механіка ще не була достатньо розвиненою.

Мінімальна програма об'єднання ЗТВ і електродинаміки була вирішена у рамках теорії Калуци-Клейна [6; 7]. Вказана теорія є об'єднанням гравітаційного і електромагнітного взаємодій в 5 – мірному просторі – часі у рамках класичної (неквантовою) теорії поля. Теорія Калуци-Клейна вводить уявлення про четвертий вимір простору. Багато фізики – теоретиків нині намагаються використовувати її для створення єдиної теорії поля, і ці спроби називаються суперсиметрія, супергравітація і теорія суперструн.

На принципово новій основі об'єднувальну теорію поля створював І. Тамм. Він оперував декількома вимірниками і не виключав додати і деякі інші теорії, розширювався прогноз існування багатьох частинок, що було не зовсім тривіальним. Але весь час

виникали все нові і нові труднощі. Квантовий варіант теорії Калуци-Клейна хоч і був мислимим, проте квантування конкретних розробок зазнавали труднощів, як і квантування ЗТВ окремо.

Для вирішення теоретичних та практичних завдань сучасна фізика вимагає від “теорії всього”, насамперед об’єднання чотирьох вимірників відомих як фундаментальні взаємодії: гравітаційна, електромагнітна, сильна ядерна, слабка ядерна. Крім того, вона повинна пояснювати існування всіх елементарних частинок.

Першим кроком на шляху до цього стало об’єднання електромагнітної і слабкої взаємодій, здійсненого у 1964 році С. Вайнбергом, Ш. Глешоу і А. Саламом [9]. У 1973 році була запропонована теорія сильної взаємодії. Після чого з’явилося декілька варіантів теорій Великого об’єднання у вигляді Стационарної моделі. Найбільш відома з них теорія Паті-Салама (1974 р.) [10]. У рамках теорій вдалося в основному об’єднати три типи взаємодій, окрім гравітаційної. Необхідно довести до учнів факт, що жодна з теорій Великого об’єднання поки не знайшла остаточного підтвердження. Частина з них вже спростовані експериментально на основі даних з відсутності розпаду протона.

Найбільш слабкою ланкою в “теорії всього” є визначення принципу об’єднання, експериментального підтвердження такої теорії Великого об’єднання і побудова квантової теорії гравітації на основі квантової механіки і ЗТВ. Вчені великі надії покладають на дослідження, які плануються у найближчі 10 років на новому коллайдері у ЦЕРНі.

Доцільно повідомити учнів, що теоретичне зведення до одного вимірника явищ Природи можливе у петлевій теорії і теорії Калуци-Клейна.

Ми вважаємо, що хоч би одну доцільно більш детально розглянути. У методиці навчання фізики ґрунтовно розглядається тримірний простір в часі. На початку двадцятого століття з’явилися припущення, що Всесвіт має більше вимірювань, чим спостережувані три просторових і одне часове. Поштовхом до цього стала ідея, яка приводить до висновку, що введення до ЗТВ додаткових показників для вимірювання приводить до отримання рівнянь Максвелла. Завдяки ідеям Калуци і Клейна стало можливим створення теорій, що оперують великими розмірностями. Введення додаткових параметрів вимірювань наштовхнуло до відповіді на питання про те, чому дія гравітації виявляється значно слабше, ніж інші види взаємодій. Загальноприйнята відповідь полягає в тому, що гравітація існує в додаткових вимірюваннях, тому її вплив на спостережувані вимірювання слабшає.

У кінці 2007 року Г. Лісі запропонував додаткові вимірники, засновані на властивостях алгебри Лі [9]. Не дивлячись на виявлені недоліки теорії Лісі, вона може відкрити новий напрям робіт в області єдиної теорії поля.

У кінці 90-х років ХХ століття стало зрозумілим, що загальною проблемою пропонуваних варіантів “теорії всього” є те, що вони не строго визначають характеристики спостережуваного Всесвіту. Так, багато теорій квантової гравітації допускають існування Всесвітів з довільним числом вимірювань або довільним значенням космологічної постійної. Деякі фізики дотримуються думки, що насправді існує безліч Всесвітів. Але лише невелика їх кількість є вагомими, бо фундаментальні константи Всесвіту визначаються антропним принципом. Англійський дослідник Макс Тегмарк довів цей принцип до логічного завершення, що виразилось у постулаті “всі математично несуперечливі структури існують фізично”. Це означає, що достатньо складні математичні структури можуть містити “самоусвідомлюючу структуру”, яка суб’єктивно сприйматиме себе такою, що “є в реальному світі”.

У 2007 році американський вчений Е. Лісі запропонував свій варіант єдиної теорії. Теорія вмістилась у 31-сторінковій праці. Це викликало значний резонанс у

науковому світі. Дана теорія пояснює взаємозв'язок чотирьох фундаментальних сил у Всесвіті сильної, слабкої взаємодії, електромагнітної сили і сили тяжіння. Вона також об'єднує дві глобальні теорії квантову механіку і загальну теорію відносності. Рішення, знайдене Лісі, одні учені називають “виключно простим” і “красивим”, а інші упевнені, що теоретик помилився. Якщо ж він не помилився, то вчений виконав завдання першочергової ваги.

На нашу думку необхідно знайомити учнів з перспективними проблемами фізики. Тоді формується дійсно науковий світогляд. Однією з таких проблем для профільних класів є формування поняття квантової гравітації – напрямком досліджень, метою якого є квантовий опис, а в майбутньому – об'єднання гравітації з іншими трьома фундаментальними взаємодіями, тобто побудова “теорії всього”. Майже століття дослідження не привели до успіху в побудові теорії квантової гравітації. Основна складність в її побудові полягає в тому, що дві фізичні теорії, які намагаються об'єднати: квантова механіка і ЗТВ спираються на різні принципи і константи. Так, квантова механіка формулюється як теорія, що описує часову еволюцію фізичних систем, наприклад, атомів або елементарних частинок, на тлі зовнішнього простору-часу. У ЗТВ зовнішнього простору-часу взагалі немає: вона сама є динамічною змінною теорією, залежній від характеристик класичних систем, що знаходяться в ній. При переході до квантової гравітації як мінімум потрібно замінити системи на квантові, тобто права частина рівнянь Ейнштейна – тензор енергії-імпульсу матерії – стає квантовим оператором. Зв'язок, що виникає, вимагає певного квантування геометрії самого простору-часу. Фізичний сенс такого квантування абсолютно незрозумілий, а відповідно відсутня будь-яка успішна несуперечлива спроба його здійснення. Навіть спроба провести квантування класичної теорії гравітації ЗТВ натрапляє на численні технічні труднощі, зокрема, квантова гравітація виявляється непереномируючою теорією. Суперечливість посилюється ще й тим, що прямі експерименти в області квантової гравітації недоступні сучасним технологіям. У зв'язку з цим в пошуку правильного формулювання квантової гравітації доводиться поки спиратися тільки на теоретичні передбачення.

Ми вважаємо за доцільно ознайомити учнів профільних класів з двома основними теоріями побудови квантової гравітації: теорія струн і петлева квантова гравітація. У першій з них замість частинок і фонового простору-часу виступають струни та їх багатовимірні аналоги – брани. Для багатовимірних завдань брани є багатовимірними частинками, але з погляду рухомих частинок брани є просторово-часовими структурами.

У другому підході робиться спроба сформулювати квантову теорію поля без зв'язків з просторово-часовим фоном. Тоді простір і час за цієї теорії складається з дискретних частин. Ці маленькі квантові осередки простору певним способом сполучені один з одним, так що на малих масштабах часу і довжини вони створюють строкату, дискретну структуру простору, а на великих масштабах плавно переходять у безперервний логічний простір-час.

Вчені запропонували багато космологічних моделей, які можливо опишуть поведінку Всесвіту тільки Планківськими величинами, включаючи й час. Тоді петлева квантова гравітація може описати сам процес Великого вибуху, і навіть заглянути далі. Петлева квантова гравітація дозволяє описати всі частинки, не вимагаючи для пояснення їх мас введення бозона Хіггса. Нині відповідь на проблему планується одержати в досліджах на коллайдері у ЦЕРНі. Основною проблемою розв'язання питання є вибір координат.

Можна сформулювати ЗТВ і у безкоординатній формі, наприклад, за допомогою зовнішніх форм, проте обчислення 4-форми Рімана здійснюються тільки в конкретній

метриці. Л. Мотль – один із найактивніших і дотепніших пропагандистів теорії струн – із цього приводу висловив думку про “фонову незалежність” з визначення значень спіну в петлевій теорії гравітації без вказівки одиничного стану – це теж саме, що обчислювати ряд Тейлора в точці  $x_0$  без вказівки  $x_0$  [6].

Ще однією перспективною теорією є теорія причинної динамічної триангуляції. У ній просторово-часова різноманітність будується з елементарних евклідових симплексів: трикутник-тетраedr-пентахор, з врахуванням принципу причинності. Чотиримірність і псевдоевклідність простору-часу в макроскопічних масштабах у ній не постулюється, а є наслідком теорії.

**Висновки.** Таким чином, у фізиці нині здійснюється процес віднайдення принципів основ та вимірників для пояснення накопичених фактів. Повторюється ситуація столітньої давності. Тоді явище фотоелектричного ефекту, радіоактивності, розподілу енергії у спектрах абсолютно-чорного тіла призвели до виникнення квантової теорії. Вказані вимірники, що розглядаються носять науковий характер, але з їх вивченням вони можуть набути і навчального оцінювача.

#### *Використана література:*

1. *Детлаф А. А.* Курс физики / А. А. Детлаф, Б. М. Яворский. – [5-е изд.]. – М.: АCADEMA, 2005. – С. 495.
2. *Храмов Ю. А.* История физики / Ю. А. Храмов. – К.: Феникс, 2006. – 1176 с.
3. *Ширков Д. В.* Виртуальные частицы / Д. В. Ширков // Физическая энциклопедия; гл. ред. Прохоров. – М.: Советская энциклопедия, 1988. – Т. 1.
4. *Foerster H.* At this date human population will approach infinity if it grows as it has grown in the last two millennia / Foerster H., Mora P., Amiot L. // Science. – 1960. – № 132. – P. 1291-1295.
5. *Вейль Г.* Пространство. Время. Материя. Лекции по общей теории относительности. – М.: Эдиториал УРСС, 2004. – С. 43-112.
6. *Zeeva Merali.* Разделение времени и пространства. Новая квантовая теория отвергает пространство-время Эйнштейна // Scientific American. (December 2009).- С. 27-67.
7. *Kaluza T.* Sitzungberichte Preuss. Akademie der Wissenschaften, Wien, 33 (1921) 966.
8. *Klein Z.* Phys. 37 (1926) 895. – P. 31-85.
9. *Визгин В. П.* Единые теории поля в первой трети XX века. – М.: Наука, 1985. – 303 с.
10. *Pati J., Salam A.* Lepton number as the fourth “color”, Phys. Rev. D10, 275-289 (1974).

#### *Аннотация*

*В статье предложен материал относительно попыток оценить с точки зрения образовательных измерений становление и развитие современных теории строения материи, теории всего.*

**Ключевые слова:** образовательные измерения, теория всего, фундаментальные взаимодействия, теория материи.

#### *Annotation*

*In the article material is offered in relation to attempts to estimate from the point of view the educational measurings becoming and development of modern theories of structure of matter, theory of all.*

**Keywords:** educational measurings, theory of all, fundamental co-operations, theory of matter.