

4. Оспенникова Е.В Цифровые учебные коллекции по физике: виды и перспективы использования в обучении // 1 сентября. Приложение «Физика». № 12, 2006. С.29-33.

## USE OF VIRTUAL EDUCATIONAL OBJECTS IN THE EDUCATIONAL PROCESS OF PHYSICS

**Abstract.** *The problem of using virtual learning objects in the educational process in physics is addressed in the article. The definition of the concept of "virtual learning object" and the specification of educational objects for different media components of the virtual educational environment is clarified. The use of various types of virtual learning objects for the subject preparation of students in atomic and nuclear physics with specific examples is proposed.*

**Keywords:** *virtual learning facility, virtual learning environment, physics training, digital material.*

Анатолій Білюк, Анатолій Білюк

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ОБГРУНТУВАННЯ КВАНТОВОЇ ТЕЛЕПОРТАЦІЇ

**Анотація.** *В роботі показано, що квантова телепортація це передача певного квантового стану на віддаль за допомогою роз'єднаної у просторі заплутаної ЕПР- пари і класичного каналу зв'язку, при якому первинний стан руйнується в точці відправлення під час проведення вимірювання першої частинки, після чого відтворюється в точці прийому інформації.*

**Ключові слова:** *квантова телепортація, спіні атома, інформація, аналізатор, поляризація фотона, кубіт.*

### Постановка проблеми.

До видатних досягнень у розвитку новітніх квантових технологій треба віднести запровадження квантової телепортації.

Ідея квантової телепортації була запозичена з ЕПР-парадоксу, звідки була залучена уява про заплутані квантові стани (entangled state), які мають головне значення у квантовій телепортації.

Заплутаними вважають дві (або більше) квантові системи – частинки А і В, які знаходяться у взаємодії одна з одною і при цьому вони знаходяться на будь-якій віддалі одна від одної. Такі частинки часто називають ЕПР-парами. Це стан суперпозиції хвильової функції. Так, наприклад, можливо заплутати два атоми, спіні яких спрямовані у різних напрямках (в одного вгору, у другого донизу). Ми не будемо знати, у якого атома який спіні. Особливості полягають в тому, що при визначенні стану одного атому миттєво визначається спіні іншого атому, який може знаходитись на великій віддалі.

Цікаво відмітити, що проблема телепортації активно розроблялась в фантастичній літературі. В цих романах йшла мова про перенесення людини в просторі. Квантова телепортація відрізняється від телепортації тим, що в даному випадку йдеться про перенос лише інформації, а не енергії і маси.

Вона набула назви квантова. Це пояснюється тим, що під час квантової телепортації використовуються тільки квантові частинки, які мають певні характерні їм властивості (спіні ядра атома, поляризація і фаза у фотона), що в макросвіті не зустрічаються.

Що саме переноситься при квантовій телепортації наочно уявити не так просто. Це не інформація про об'єкт, а це саме стан об'єкту. Чому не треба говорити про перенос інформації? Це пояснюється тим, що в квантовому каналі, в процесі досліду з однією частинкою на другу переносяться точні характеристики (точніше їх значення), які залишаються деякий час невідомими дослідникам. Розглянемо це на простому прикладі.

Порівняємо квантову частинку з кулькою, яка може мати чорний або білий колір, тобто кулька має інформацію 1 біт (0, або 1).

У мікросвіті свої незвичайні закони і уявлення. Квантова частинка (атом, електрон, фотон) може знаходитись у суперпозиції – це незвичайний фізичний стан квантової частинки у вигляді примари – стан між 0 і 1 (якщо повернутись до кульки – то сірий колір). Стан частинки (кульки) описується хвильовою функцією, яка характеризує розподіл імовірностей. Їх сукупність для різних характеристик певної частинки є певний «образ» частинки, її повний квантовий стан.

Так, наприклад, коли фотон летить, то його поляризація невизначена, вона розмазана по повному полю імовірності, але як тільки фотон потрапляє в детектор миттєво відбувається колапс хвильової функції, вона стягується в точку і створюється конкретне значення поляризації фотона, а в нашому прикладі – якщо у першій кульки було знайдено чорний колір, то у другій кульки буде білий колір).

Квантова телепортація це передача певного квантового стану на віддалі за допомогою роз'єднаної у просторі заплутаної ЕПР- пари і класичного каналу зв'язку, при якому первинний стан руйнується в точці відправлення під час проведення вимірювання першої частинки, після чого відтворюється в точці прийому інформації

**Мета:** проаналізувати передачу певного квантового стану на віддалі за допомогою роз'єднаної у просторі заплутаної ЕПР- пари і класичного каналу зв'язку.

#### **Виклад основного матеріалу.**

Вперше ідея квантової телепортації була розроблена у 1993 р групою Ч. Беннета (IBM).

При цьому були використанні ЕПР-пари і розроблено метод перенесення квантового стану з одного об'єкту на другий квантовий об'єкт. Цьому процесу була дана назва квантової телепортації. Шляхом використання заплутаної ЕПР-пари і приєднання третьої частинки до однієї з заплутаних частинок була вдало здійснена спроба передачі властивостей від першої частинки до другої віддаленої частинки.



Рис. 1. Ч. Беннет і його команда



Рис. 2. Установка з телепортації

Безпосередньо квантова телепортація експериментально була здійснена у 1997 р незалежно двома групами дослідників: групою А. Цайлінгера (університет Інсбрука, Австрія) і Франческо де Мартіні (університет Риму, Італія).

Розглянемо дослід, проведений групою А. Цайлінгера.

Частинка світла фотон проходить через кристал кальциту і при цьому створюються два фотони з однаковою енергією і протилежною поляризацією. У одного фотона поляризація вертикальна, а у другого – горизонтальна. При цьому невідомо у якого

фотона яка поляризація. Відомо лише, що вони взаємноперпендикулярні. Щоб дізнатись про це один фотон А спрямовують в точку 1 ( де є аналізатор поляризації), а другий фотон Б в точку 2, де також є аналізатор. Між фотонами не має матеріального зв'язку, і є лише зв'язок квантовий – заплутаний, кореляційний зв'язок. Вимірюють стан в точці 1 і при цьому миттєво одержують відомості про точку 2. Фотон А губить свої властивості, а фотон Б одержує ідентичні властивості, подібні до фотону А. Було доведено точно, що в процесі експерименту одержано ідентичний квантовий стан іншого об'єкту, що знаходився на певній віддалі від першого об'єкту, тобто було здійснено квантову телепортацію.

Точність перших досліджень була біля 25 %.

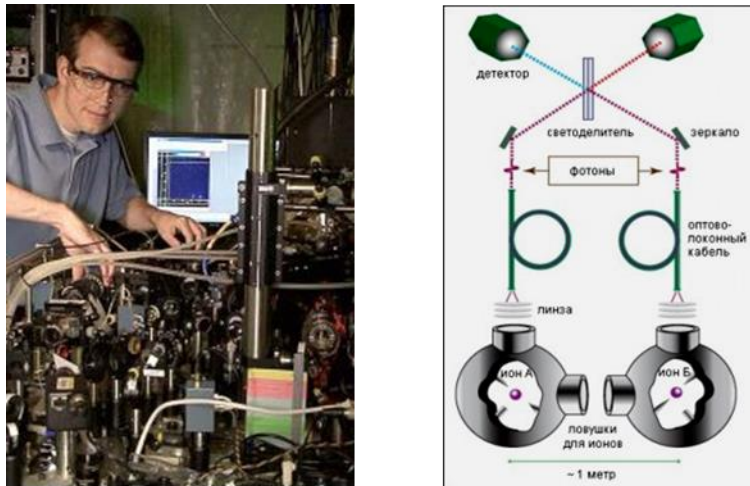


Рис.3. Телепортація іонів кальцію

Надалі швидко збільшувалась кількість лабораторій, що займались проблемами квантової телепортації, ускладнювалась апаратура, яка вимагала високого рівня складності та методики дослідів; підвищувалась точність експерименту, збільшувалась віддаль передачі стану в дослідях по квантової телепортації.

Спочатку дослід з квантової телепортації проводились з фотонами, але згодом почали використовувати для квантової телепортації спочатку атоми, а потім групи атомів.

У 2004 р було здійснено квантову телепортацію іона атому кальцію, а потім кубіту на основі атомів берилію. Це був важливий крок на шляху до створення квантових комп'ютерів на основі атомів берилію.

У 2006 р у Інституті теоретичної фізики Бора (Копенгаген, Данія) було здійснено квантову телепортацію між системами різної фізичної природи – лазерним випромінюванням і атомами цезію.

У 2009 р була здійснена квантова телепортація іона на віддалі 1 м.

Цікаві дослід були проведені фізиками Об'єднаного інституту квантової фізики університету у Мериленді. Для проведення експерименту були задіяні іонні ловушки. Дослід проводились з атомами ітербію. Схема досліду зображена на рисунку і складається з двох іонних ловушок, лінз, оптоволоконного кабелю, дзеркал, світлоподілювача, детекторів.

В ловушках було зафіксовано два іони А і Б ітербію у підвішеному стані. На іон А спрямовувалось мікрохвильове випромінювання одним з електродів. Створювалась інформаційна комірка –кубіт. Після цього обидва іони збуджувались пікосекундним лазерним імпульсом. Кубіт повертався в попередній стан шляхом випромінювання

фотонів (умовно – червоних) Далі фотони за допомогою лінз спрямовувались за допомогою оптоволоконного кабеля на світлоподілювач, який з однаковою імовірністю відбивав і пропускав фотони, які остаточно потрапляли в детектори. До потрапляння на світлоподілювач кожний з фотонів знаходився в невідомій суперпозиції станів, але в детекторі фіксувались чотири різних видів частинок: блакитний – блакитний, блакитний – червоний, червоний – червоний, червоний – блакитний. Але лише в одному з варіантів фотони одночасно досягають обох детекторів і при цьому неможливо визначити, якому іону належить даний квант світла. Саме цей стан належить заплутанності станів іонів. Коли це стає визначеним звертаються до визначення стану іона А. Коли цей стан іона А визначений миттєво стає визначеним стан іона Б. На підставі дослідів з іоном А стає відомими параметри мікрохвильового випромінювання за допомогою якого потрібно подіяти на кубіт Б, щоб остаточно визначити інформацію про кубіт А. При цьому інформація на кубіті А повністю знищується.

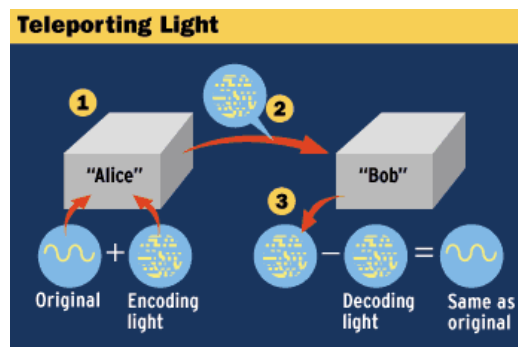


Рис.4. Квантова телепортація Алісе – Боб.

Дослід визначався певною складністю використаної апаратури і тривалістю експерименту, який тривав біля 3-х тижнів цілодобового експерименту. Справа в тому, що фотони від іонів ітербію попадали на свої оптичні кабелі дуже рідко – один раз на 100 мільйонів штук.

У 2010 р дослідники в Китаї здійснили рекордну телепортацію фотонів на віддалі 16 км.

Зауважимо, що глибоке розуміння процесу квантової телепортації вимагає певних зусиль від непередбаченого читача. В зв'язку з цим ми подамо схематичний опис квантової телепортації в декількох варіантах.

Квантова телепортація проводиться в 4 основних етапи:

- зчитування об'єкта-оригінала;
- розщеплення об'єкта-оригінала і переведення інформації в певний код;
- передача коду до місця кінцевої інформації;
- відтворення кінцевої інформації.

Розглянемо більш детально випадок квантової телепортації, яку для зручності розділимо на основні принципи і основи експерименту.

а) Принципи квантової телепортації.

Розглянемо двох абонентів: Алісу і Боба, які намагаються здійснити квантову телепортацію. Нехай у Алісі є квантова система у вигляді квантової частинки 1 (це може бути фотон в деякому початковому стані). Відомості про частинку 1 Аліса хоче повідомити Бобу. Додатково Аліса і Боб мають так звану ЕПР-пару заплутаних частинок 2,3. За допомогою частинок 1 і 2 Аліса виконує визначення так званого стану Белла. Результат цього вимірювання Аліса за допомогою звичайного телефону повідомляє Бобу. Боб за допомогою цієї інформації перетворює свою частинку 3 в початковий стан частинки 1 (яка знаходиться у Алісі) і завдяки цьому сеанс квантової

телепортації завершується. При цьому інформація у частинки 1 повністю зникає. Це дуже суттєво для квантової телепортації, так як під час квантової телепортації неможливо здійснити процес клонування.

б) Експериментальні основи.

Розглянемо процес квантової телепортації з експериментальної точки зору.

За допомогою імпульсу електромагнітного випромінювання, який проходить через нелінійний кристал створюється ЕПР-пара двох заплутаних фотонів 2 і 3. Після відбиття від цього кристалу створюються ще два фотони: 1 – що проходить через поляризатор і отримує певну поляризацію і фотон 4, який має допоміжну роль.

Відомості про фотон 1 Аліса намагається передати Бобу. Фотон 1 і фотон 2, проходячи через фотоподільувач після цього потрапляють у фотодетектори  $f_1$  і  $f_2$ , в яких створюється суперпозиція фотонів 1 і 2 і фіксується стан співпадання між 1 і 2. Цей результат у вигляді класичної інформації Аліса надсилає Бобу. У Боба є фотон 3. За допомогою одержаної від Аліси інформації Боб обробляє фотон 3 і одержує очікуваний результат відомості про фотон 1. Після цього ці відомості у Аліси зникають.

Схематично цей процес подано на рисунку 4.

Розглянемо ще один приклад квантової телепортації також у два етапи.

а. Аліса має квантову частинку 1, відомості про яку вона бажає передати за допомогою квантової телепортації Бобу. За допомогою ЕПР-джерела Аліса і Боб одержують ЕПР-заплутану пару частинок 2,3. Аліса виконує за допомогою частинки 2 дослід над частинкою 1. Одержану інформацію Аліса надсилає Бобу по класичному каналу, тобто по звичайному телефону. Боб використовує інформацію Аліси для обробки частинки 3 внаслідок чого отримує відомості про попередній стан частинки 1, який намагалась йому передати Аліса. Інформаційний стан частинки 1 зникає. Ще раз нагадаємо, що в процесі телепортації відбувається передача лише інформації, а не клонування.

б. Імпульс ультрафіолетового випромінювання проходить через нелінійний кристал і при цьому виникають два фотони 2 і 3. Ці два фотони є ЕПР-заплутаною парою, вони кореляційно зв'язані. Той самий імпульс ультрафіолетового випромінювання, відбиваючись від кристалу створює ще два фотони 1 і 4. Фотон 1 має певний квантовомеханічний стан, відомості про який Аліса намагається передати Бобу. Аліса спостерігає за проходженням фотонів 1 і 2 через фотоподільник ФД і через детектори, в яких мають місце співпадання показів детекторів, внаслідок чого одержується суперпозиція 1 і 2 і відомості про стан Белла. Одержану інформацію взаємодії фотонів 1 і 2 Аліса надсилає Бобу за допомогою звичайного телефону (класичним чином). Боб використовує інформацію, яку надіслала йому Аліса і остаточно дізнається, використовуючи фотон 3 про стан фотона 1. Таким чином сеанс квантової телепортації завершується. Інформація про стан фотона 1 зникає.

**Висновки.** Таким чином, в процесі квантової телепортації використовується два принципово різних канали передачі інформації: квантовомеханічний (за допомогою заплутаних ЕПР-пар) і класичний (за допомогою звичайного телефону).

В останній час дослідження з питань квантової телепортації набувають великої актуальності. В світі в наш час працює більш 40 наукових лабораторій, в яких досліджуються питання квантової телепортації.

#### Список використаних джерел

1. Гросс Дж.Д. Открытие асимптотической свободы и появление КХД. // УФН.- 2004.- Т.175.- № 12.- С. 1307-1518.
2. Мухин К.Н., Тихонов В.Н. Старая и новая экзотика в мире элементарных частиц.// УФН.- 2001, Т. 171. -№ 11.-С.1204-1251.
3. Чу С. Управление нейтральными частицами. //УФН.- 1999.-Т.169.-№ 3.-С. 274-291.

4. Окунь Л.Б. Основные понятия и законы физики и свойства элементарных частиц материи.- М.: ИТТФ, 2010.- 29 с.

5. Грин М. Элегантная Вселенная. Суперструны, скрытые размерности и поиски окончательной теории.- М.: Едиториал, УРСС, 2004.- 288 с.

### **EXPERIMENTAL SUBSTANTIATION OF QUANTUM TELEPORTATION**

**Abstract:** *It is shown that quantum teleportation is the transmission of a certain quantum state at a distance by means of a space-separated entangled EPR - pair and a classical communication channel, in which the primary state is destroyed at the point of departure during the measurement of the first particle. which is reproduced at the point of reception of information.*

**Keywords:** *quantum teleportation, atom spin, information, analyzer, photon polarization, qubit.*

**Микола Коцулим, Андрій Гаєвський, Анатолій Сільвейстр**

### **ФОРМУВАННЯ ПОНЯТТЯ СВІТОГЛЯДУ В УЧНІВ СТАРШОЇ ШКОЛИ**

**Анотація.** *У статті представлені та теоретично обґрунтовано сутність, структуру та поняття формування світогляду учнів під час навчання фізики. Описано можливі шляхи формування наукових поглядів учнів на уроках фізики за допомогою методів, прийомів та форм навчання. З'ясовано поняття наукового світогляду та доцільність застосування методологічних та методичних підходів у його формуванні.*

**Ключові слова:** *світогляд, науковий світогляд, формування, освітній процес, матеріальне поле, мотивація, актуалізація.*

**Постановка проблеми.** Одним з основних напрямів удосконалення шкільної фізичної освіти є підвищення виховного потенціалу курсу фізики та світоглядного його спрямування під час вивчення. Найважливішими світоглядними завданнями курсу фізики є розкриття матеріальної природи фізичних (механічних, теплових, електричних, оптичних, квантових) явищ, їх пізнаваності й закономірного зв'язку між ними, об'єктивного характеру законів та причинно-наслідкових зв'язків, діалектико-матеріалістичне тлумачення найважливіших фізичних понять, законів і теорій, співвідношення теорії і практики в науковому пізнанні [2, с. 4].

**Мета:** теоретично обґрунтовано сутність, структуру та поняття формування світогляду учнів старшої школи під час навчання фізики.

**Аналіз попередніх досліджень.** Питанню формування світогляду під час вивчення фізики присвячені дослідження багатьох науковців, зокрема: філософів (В. Андрущенко, В. Кремень, М. Мостепаненко, В. Шинкарук та ін.), фізиків-теоретиків (Н. Бор, В. Гейзенберг, М. Планк, А. Ейнштейн та ін.), фізиків-методистів (П. Атаманчук, О. Бугайов, С. Величко, С. Гончаренко, О. Іваницький, О. Коновал, Є. Коршак, О. Ляшенко, М. Мартинюк, М. Садовий, О. Сергеев, В. Шарко, Г. Шишкін, М. Шут та ін.). У процесі аналізу літературних джерел з'ясовано, що світогляд має формуватися як система сучасних уявлень про взаємодію суспільства й природи та бути орієнтиром у сучасній діяльності з метою задоволення потреб людини за допомогою сучасних технологій, які мають розглядатися як предмет фізичного дослідження.

**Виклад основного матеріалу.** На думку С. Гончаренка, важливо також ознайомлювати учнів з методологічними основами і змістом фізичної науки, з методами наукового пізнання. Основною методологічною ідеєю при формуванні поняття матеріальності світу виступає філософське означення матерії, матерія є філософська категорія для означення об'єктивної реальності, яка дана людині у відчуттях її, яка копіюється, фотографується, відображується нашими відчуттями, існуючи незалежно від них [2, с. 12]. Для філософії найважливішою властивістю, ознакою матерії, дійсною для