



# П'ЯТЬ ІСТОРІЙ З АСТРОНОМІЇ І ФІЗИКИ

I. O. Вакарчук,

Львівський національний університет імені Івана Франка,  
кафедра теоретичної фізики

Мета цієї статті – розповісти кілька історій про те, як робилися великі відкриття у фізиці й астрономії за незначними, ледь помітними деформаціями звичних нам фізичних явищ. Це, з одного боку, ілюструватиме незбагненне прагнення людини пізнавати навколишній світ, а з іншого – віру людини в те, що навіть таки незначні спотворення спостережуваних явищ мусить мати фізичні пояснення.

## Історія перша – “Планета Нептун”

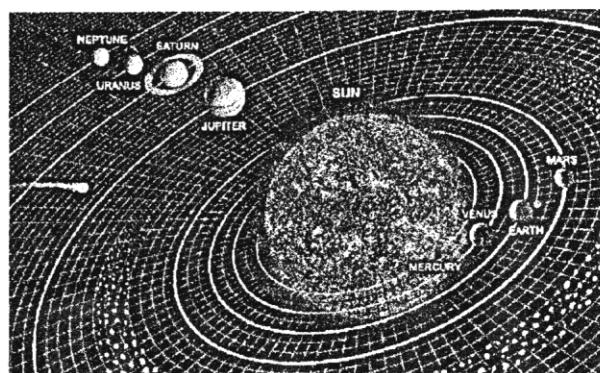
23 вересня 1846 року асистент директора (пізніше директор) Берлінської обсерваторії Йоган Готфрід Галле отримав листа, що змінив хід історії астрономії. Лист прийшов від француза Урбене Ле Вер’є, який вивчав планету Уран. Він дійшов висновку, що рух цієї планети неможливо пояснити, якщо брати до уваги гравітаційні сили лише від відомих на той час інших планет (Меркурій, Венера, Земля, Сатурн, Марс, Юпітер). Він припустив, що існує ще один додатковий невидимий масивний об’єкт, який і збурює орбіту Урана, і в результаті розрахунків вказав, де саме мало б бути це небесне тіло.



Йоганн Готфрід Галле  
(Johann Gottfried Galle)  
(1812–1910)



Урбен Жан Жозеф Ле Вер’є  
(Urbain Jean Joseph Le Verrier)  
(1811–1877)





Передбачення Ле Вер'є трималось на вірі, що закони Ньютона, на підставі яких він проводив свої розрахунки збурення планети Уран, є правильними:

закон всесвітнього тяжіння,

$$F = G \frac{mM}{R^2},$$

де  $F$  – сила притягання між тілами з масами  $m$  та  $M$ ;  $R$  – відстань між ними;  $G$  – гравітаційна стала;

та другий закон динаміки

$$\vec{F} = m\vec{a},$$

де  $\vec{a}$  – пришвидшення.

Галле увечері того ж дня знайшов цей об'єкт саме в тій точці на небі, де передбачила теоретична модель Ле Вер'є. Так, за незначним збуренням орбіти Урана, було відкрито 8-му планету Сонячної системи – Нептун.

### Історія друга – “Рух Меркурія”

**М**еркурій – найближча до Сонця планета. Як і кожна орбіта планети, орбіта Меркурія має найближчу точку до Сонця – перигелій і найвіддаленішу точку – афелій. Астрономічні виміри положення перигелію Меркурія виявили, що воно не є фіксованим, а відбувається прецесія – з кожним обертом довкола Сонця перигелій зміщується, тобто орбіта Меркурія є розеткою (див. рис. 1).

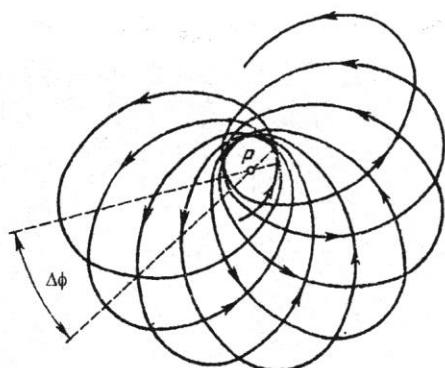
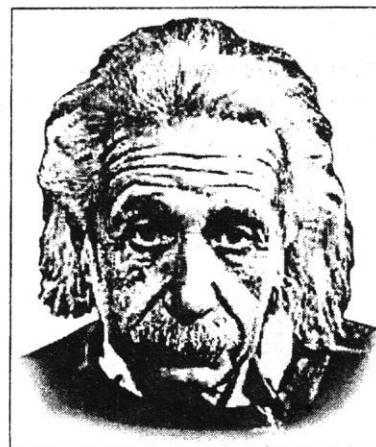


Рис. 1

За законами Кеплера і Ньютона так не мало би бути – орбіта є еліпсом. Були спроби пояснити це зміщення гіпотетичним небесним тілом з назвою Вулкан або наявністю пилу між Сонцем і Меркурієм. Це зміщення є малим, за 100 років набігає  $\Delta\phi \approx 43''$ , та астрономічні виміри настільки точні, що воно було впевнено зафіксоване. На щастя, існують точні спостереження за Меркурієм, починаючи з 1765 року. Насправді існують кілька причин цього зміщення, зокрема, вплив інших планет (переважно Венери, Землі та Юпітера), сплюснутість Сонця. Мова йде про аномальну прецесію в  $43''$  за сторіччя. Довший час цю загадку не могли пояснити і лише після того, як французький учений Анрі Пуанкарє і німецький учений Альберт Айнштайн показали, що закони Ньютона потребують змін, і записали ці закони у релятивістській формі, а згодом Альберт Айнштайн і німецький математик Давид Гільберт написали закони загальної теорії відносності – причини цього зміщення вдалися пояснити.



Альберт Айнштайн  
(Albert Einstein)  
(1879–1955)



Давид Гільберт  
(David Hilbert)  
(1862–1943)



Жуль Анрі Пуанкарэ  
(Jules Henri Poincaré)  
(1854–1912)

Відносне зміщення перигелю планети за спеціальною теорією відносності:

$$\frac{\Delta\varphi}{\pi} \approx \frac{v^2}{c^2},$$

тут  $v$  – швидкість Меркурія;  $c$  – швидкість світла.

Записуємо рівність між відцентровою силою, що діє на Меркурій маси  $m$ , і силою тяжіння між Меркурієм і Сонцем

$$\frac{mv^2}{a} = G \frac{Mm}{a^2},$$

де  $M$  – маса Сонця,  $a$  – його відстань до Сонця.

Звідси знаходимо, що

$$v^2 = G \frac{m}{a}.$$

Тепер зміщення

$$\Delta\varphi = \frac{\pi GM}{ac^2}.$$

Точний вираз на підставі загальної теорії відносності дає в шість разів більший результат:

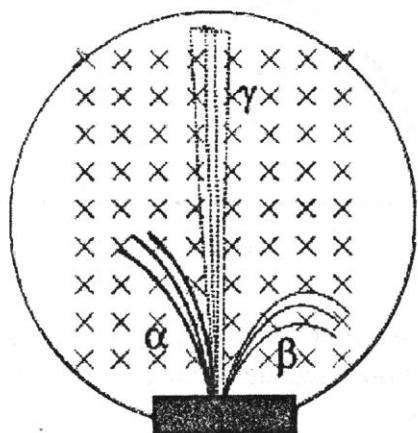
$$\Delta\varphi = \frac{6\pi GM}{ac^2}.$$

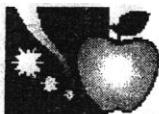
Саме цей вираз і дає спостережуване значення  $\Delta\varphi$  і він є одним з підтверджень загальної теорії відносності.

### Історія третя – “Нейтрині”

**Я**вище радіоактивності, тобто спонтанне перетворення нестійких ізотопів одних хемічних елементів в інші, відкрив французький фізик Анрі Беккерель 1896 року (Нобелівська премія з фізики, 1903 р.).

Було виявлено, що при цьому відбувається випромінювання так званих  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ -променів:  $\alpha$ -промені – це ядро атома  ${}^4\text{He}$ ,  $\beta$ -промені – це електрони,  $\gamma$ -промені є квантами електромагнітного поля, тобто фотонами.





Цікавим виявився  $\beta$ -розпад.

Якщо залежність кількості частинок  $N$  від їхньої енергії  $E$  для  $\alpha$  і  $\gamma$ -променів є такою, як зображене на рис. 2, то цей графік для  $\beta$ -розпаду принципово інший, на рис. 3.

Отже, якщо  $\alpha$ -частинки і  $\gamma$ -кванти вилітали з ядра за певної характерної енергії  $E_c$ , що дорівнює різниці дискретних енергетичних рівнів ядра, то електрони вилітали з ядра за будь-яких значень енергії. І це було незрозуміло.

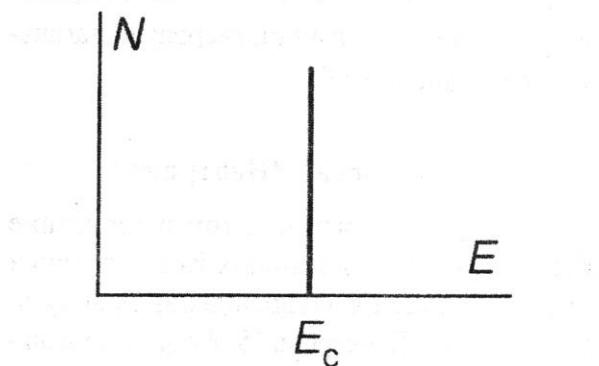


Рис. 2

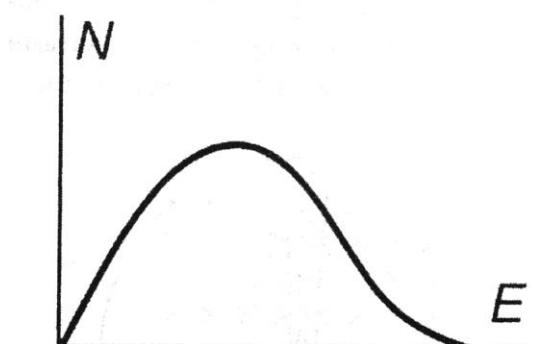


Рис. 3

Була навіть гіпотеза Нільса Бора, що закон збереження енергії справедливий лише в середньому.

У грудні 1930 року швейцарський фізик Вольфганг Паулі висловив гіпотезу про існування частинки, яка не фіксується в цих експериментах, є “невидимою”, тобто слабо взаємодіє з іншими частинками і забирає частину енергії від електронів.



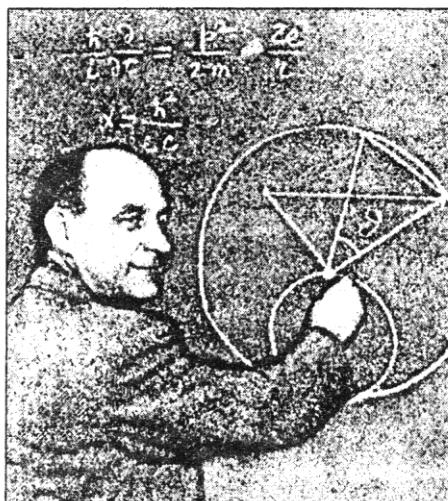
Антуан Анрі Беккерель  
(Antoine Henri Becquerel)  
(1852–1908)



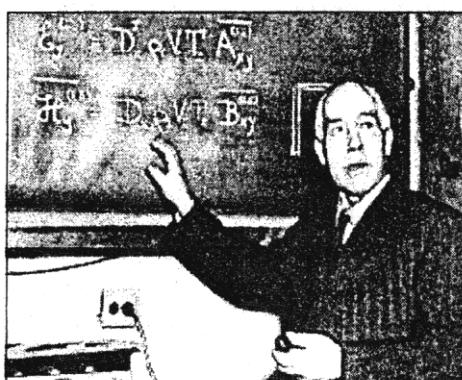
Вольфганг Ернст Паулі  
(Wolfgang Ernst Pauli)  
(1900–1958)



Назву цій частинці 1932 року дав італійський фізик Енріко Фермі (який 1942 року в Чикаго запустив керовану ядерну реакцію) – “нейтрино”, італійською мовою зменшувальне від нейтрона, – також нейтральна частинка. І лише за 26 років, 1956 року експериментально було виявлено нейтрино. Ці експерименти є досить високовартісними і ставили їх лише з вірою в те, що існування цієї невидимої частинки – це єдине правильне пояснення спектра  $\beta$ -розпаду.



*Енріко Фермі (Enrico Fermi)  
(1901–1954)*



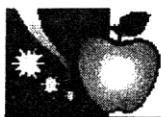
*Нільс Генrik Давід Бор  
(Niels Henrik David Bohr)  
(1885–1962)*

### Історія четверта – “Темна матерія”

Це в 30-х роках минулого сторіччя астрономи почали непокоїтися тим, що спостережувані рухи галактик і зір не відповідають розрахованим. Спочатку цей дискомфорт не був таким відчутним, однак пізніше з'ясувалось, що це вже твердо встановлений експериментальний факт – виявляється, що кількість речовини, яку спостерігаємо у Все світі, є недостатньою, щоб пояснити рухи галактик. Тобто виявляється, що єдиним припущенням, яке може пояснити характер цих рухів, є додаткова речовина, яку не реєструють прилади в електромагнетних процесах. Тепер ми називаємо цю невидиму речовину “темною матерією”. Цю назву ввів в обіг Фріц Цвіккі 1933 року. Потрібно також ввести в обіг і поняття “темної енергії”, яка надає спостережуване пришвидшення в розбіжні галактиць. Частково ситуацію виправило нейтрино, яке, як з'ясувалося, має масу – раніше припускалося, що маса нейтрино дорівнює нулеві. Однак, нині встановлено, що кількість темної матерії є приблизно в 6 разів більшою, ніж спостережуваної. Отже, темна матерія, виявляє себе лише в гравітаційних взаємодіях.



*Фріц Цвіккі  
(Fritz Zwicky)  
(1898–1974)*



Пригадаємо собі історію з Нептуном із нейтрино. Якщо планету Нептун виявили одразу після листа Ле Вер'є до обсерваторії в Берліні, то нейтрино зареєстрували лише за 26 років після припущення В. Паулі про його існування. Відтак було експериментально винайдено ще один тип взаємодії – поряд з гравітаційною, електромагнетною і сильною взаємодіями, у  $\beta$ -розпаді діє так звана слабка взаємодія, яку згодом було об'єднано з електромагнетною під назвою “електрослабкої” (Нобелівська премія – С. Вайнберг, Ш. Глешоу, А. Салам, 1979 р.).

Яка природа темної матерії? Чи вона зовсім не взаємодіє зі звичайною “світлою” матерією? Як її реєструвати? (Див. також *M. Тродден, Дж. Фен. Темные миры. В мире науки, № 1, 2011.*)

Тепер припускають, що є новий сорт елементарних частинок, які надзвичайно слабко взаємодіють зі звичайною “світлою” речовиною. Ці частинки називають вімпами: WIMP – ця абревіатура походить від початкових літер англійських слів “слабко взаємодіючі масивні частинки” (Weakly Interacting Massive Particle).

Існує кілька методів їх можливого спостереження:

**анігіляція** – під час зустрічей двох вімпів, вони анігілюють і виникають електрони, по-зитрони, нейтрино, які вже можна реєструвати;

**пряме спостереження** – з малою ймовірністю у своєму блуканні Всесвітом частинки темної матерії проходять крізь Землю і можуть зіштовхнутися з атомним ядром світлої речовини. Цей зсув ядра можливо зареєструвати;

**народження** – темна матерія може бути створена в пришвидшувачах (як у Великому адронному колайдері). Метод такий, як і під час виявлення нейтрино: під час зіткнення

частинок звичайної матерії частина енергії не буде реєструватися, оскільки піде на вімпи.

Так само, як сонячну систему зараз неможливо уявити без Нептуна і Плутона, Всесвіт буде немислимий без темної матерії і темних світів, що створені з темної матерії.

### Історія п'ята – “Гравітаційні хвилі”

Існування гравітаційних хвиль передбачають рівняння загальної теорії відносності Айнштейна–Гельберта. Однак зареєструвати їх не вдається до цього часу. Це пов'язано з їх надзвичайною слабкістю, внаслідок їхнього квадрупольного характеру випромінювання, оскільки дипольний момент системи гравітаційно взаємодіючих частинок дорівнює нульові. Їхня інтенсивність:

$$I \sim \frac{GM^2}{a} \omega \left( \frac{\omega a}{c} \right)^5,$$

де  $G$  – гравітаційні стала;  $\omega$  – частота випромінювання;  $M$  – маса гравітуючого тіла, що випромінює;  $a$  – його лінійні розміри.

Нагадаємо, що інтенсивність електромагнетного випромінювання як дипольного дорівнює

$$I \sim \frac{e^2}{a} \omega \left( \frac{\omega a}{c} \right)^3,$$

де  $e$  – заряд електрона;  $a$  – розміри атома, що випромінює.

Нешодавно (березень, 2014 року) отримано опосередковані докази існування гравітаційних хвиль. Було виявлено характерне “закручування” поляризації реліктового мікрохвильового випромінювання. Це закручування виникло внаслідок поширення у просторі гравітаційних хвиль, які виникли у першу мить Великого Вибуху і подальшого інфляційного розширення Всесвіту.

С ВІТ  
dіЗВІРУ №1  
науково-популярний журнал  
2014

2014 – Міжнародний рік  
кристалографії



ПАМ'ЯТІ НЕБЕСНОЇ СОТНІ

# СВІТ ФІЗИКИ

науково-популярний журнал

1(65) '2014

Журнал "СВІТ ФІЗИКИ",  
заснований 1996 року,  
реєстраційне свідоцтво № КВ 3180  
від 06.11.1997 р.

Виходить 4 рази на рік

**Засновники:**  
Львівський національний університет  
імені Івана Франка,  
Львівський фіз.-мат. ліцей,  
СП "Євросвіт"

**Головний редактор**  
**Іван Вакарчук**

заступники гол. редактора:  
**Олександр Гальчинський**  
**Галина Шопа**

Редакційна колегія:

**Ігор Анісімов**  
**Михайло Бродин**  
**Петро Голод**  
**Ярослав Довгий**  
**Іван Климишин**  
**Юрій Ключковський**  
**Богдан Лукіянець**  
**Олег Орлянський**  
**Максим Стріха**  
**Юрій Ранюк**  
**Ярослав Яцків**

Художник **Володимир Гавло**  
Літературний редактор **Мирослава Прихода**  
Комп'ютерне макетування та друк  
СП "Євросвіт"

**Адреса редакції:**

Редакція журналу "Світ фізики"  
вул. Саксаганського, 1,  
м. Львів 79005, Україна  
тел. у Львові 380 (0322) 39 46 73  
у Києві 380 (044) 416 60 68  
phworld@franko.lviv.ua  
www.franko.lviv.ua/publish/phworld

"...Наука сама по собі морально нейтральна. Наука – як двосічний меч. Один бік цього меча може бити по бідності, хворобах і невігластву, а інший може вдарити по людях. Проти чого і проти кого спрямований цей меч – залежить від мудрості тих, у чиїх руках він перебуває.

Айнштайн колись казав: "Наука може визначити тільки, що є, а не що має бути, а поза цариною науки моральні оцінки, як і раніше, доконечні." Наука розв'язує одні проблеми й водночас створює інші, але вже на вищому рівні.

Грубий, руйнівний бік науки ми побачили під час Першої й Другої світових війн. Світ із жахом дивився, як наука несе спустошення й смерть у небачених раніше масштабах, – з'явились отруйні гази, кулемети, запалювальні бомби, що винищували цілі міста, і насамкінець атомна бомба.

Але наука також дала людству змогу відбудувати міста, зруйновані під час війн, і зберегти мир і добробут мільярдам людей. Справжня сила науки полягає в тому, що вона дає нам більше можливостей і більше влади – водночас залишаючи вибір. Наука підкреслює інноваційний, творчий і незламний дух людства – так само, як і наші разючі недоліки."

**Мічіо Кайку**  
"Фізика майбутнього"

*Не забудьте  
передплатити журнал  
"Світ фізики"*



**Передплатний індекс**  
**22577**

Передрук матеріалів дозволяється лише з письмової згоди редакції та з обов'язковим посиланням на журнал "Світ фізики"

© СП "Євросвіт"

# ЗМІСТ

## 1. Нові та маловідомі явища з фізики

Вакарчук І. О. П'ять історій з астрономії і фізики	3
Курик М. В. Нанофізика – складова нанонауки ХХ століття	9
2014 – Міжнародний рік кристалографії	17

## 2. Фізики України

Недописана... Петро Іванович Голод	18
------------------------------------	----

## 3. Фізики світу

Шопа Микола. Шкала Фаренгейта	19
-------------------------------	----

## 4. Олімпіади, турніри...

Умови задач III (Обласного) етапу Всеукраїнської олімпіади з фізики (8–11 класи, Львів, 2014)	24
Розв'язки задач III (Обласного) Всеукраїнської олімпіади з фізики (8–11 класи, Львів, 2014)	28

## 5. Інформація

Що цікавого буде в світі фізики 2014 року	39
---	----

## 6. Фізика в житті

Хрептак Олександр. Знайти потрібний шлях	41
--	----

## 7. Реальність та фантастика

Конкурс краси формул	48
----------------------	----