



Міністерство освіти і науки України
Херсонський державний університет

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ
ПЕДАГОГІЧНІ НАУКИ

Випуск LXVI

Херсон – 2014

УДК 378: 52+53

Кузьменков С.Г.

***СПЕЦКУРС "ФУНДАМЕНТАЛЬНІ ФІЗИЧНІ ТА МАТЕМАТИЧНІ
КОНСТАНТИ" ЯК КРОК ДО ФУНДАМЕНТАЛІЗАЦІЇ ФІЗИЧНОЇ
ТА АСТРОНОМІЧНОЇ ОСВІТИ***

Статтю присвячено обґрунтуванню доцільності впровадження інтегративного спецкурсу "Фундаментальні фізичні та математичні константи", який втілює у навчальний процес принцип фундаменталізації освіти і формує у майбутніх фахівців фізичних спеціальностей єдину астрофізичну картину світу.

Ключові слова: фундаменталізація освіти, фундаментальні фізичні та математичні константи, астрофізична картина світу.

Найважливішим компонентом нової освітньої парадигми є концепція фундаменталізації, яка передбачає істотне підвищення якості освіти. Фундаменталізація освіти є безпосередньою реакцією на зростання потоків інформації у сучасному світі й проблеми адаптації фахівця в умовах, що швидко змінюються.

На думку В.В. Кондратьєва фундаменталізація в освіті – це досягнення глибинних, сутнісних основ і зв'язків між різноманітними процесами навколишнього світу [10]. За словами А.Д. Суханова фундаменталізація освіти передбачає: створення умов для формування гнучкого і багатогранного наукового мислення, способів адекватного сприйняття дійсності [18], а за С.У. Гончаренко, – "акцентування уваги на засвоєнні найбільш істотних, фундаментальних, стійких і довготривалих знань, котрі лежать в основі цілісного сприймання наукової картини сучасного світу, репрезентованого світом

космосу, світом людини й суспільства, світом людської цивілізації і глобальних фундаментальних процесів, які в них відбуваються" [1].

Одним із головних завдань, що ставляться під час підготовки вчителя фізики та астрономії, є формування єдиної астрофізичної картини світу як частини загальнонаукової картини світу. Наукова картина світу за А.Й. Єремеевою – це внутрішньо узгоджена система уявлень про навколишній світ (або його аспект, наприклад, астрономічний), абсолютизація, "твердий зліпок" науки сучасної епохи, тимчасова модель дійсності [6]. Тому метою даного спецкурсу є сформування уявлення про основи єдиної наукової картини світу, яка базується на досягненнях сучасної математики, теоретичної та експериментальної фізики, астрофізики.

Відкриття фундаментальних констант можна вважати одним із видатних досягнень фізичної науки, оскільки вони надають нам інформацію про найбільш загальні, основоположні властивості спостережуваного Всесвіту. З цього погляду фундаментальними, на нашу думку, потрібно вважати константи, що наведені в табл. 1.

Як відомо, математичні константи π і e присутні в багатьох фізичних і астрономічних формулах. Наявність у формулах числа π зумовлена *симетричними властивостями простору* (його *ізотропністю*) [3; 7]. Проте значення відношення довжини кола до свого діаметра у світах, що описуються геометріями Евкліда, Лобачевського або Рімана (що відповідає різним сценаріям розширення спостережуваного Всесвіту – Метагалактики), буде різним [7; 13].

Таблиця 1.

Фундаментальні математичні та фізичні константи

Константа	Числове значення	Автор і рік введення	Автор і рік першого вимірювання
π	3,141593	У. Джонс, 1706, Л. Ейлер, 1736	?
e	2,718282	Л. Ейлер, 1736	Л. Ейлер, 1736
c	$299792458 \frac{\text{М}}{\text{с}}$	Дж. Максвелл, 1864	О. Рьомер, 1676
G	$6,673(10) \cdot 10^{-11} \frac{\text{М}^3}{\text{кг} \cdot \text{с}^2}$	І. Ньютон, 1687	Г. Кавендіш, 1798
e	$1,602176 \cdot 10^{-19}$ Кл	Дж. Стоней, 1891	Р. Міллікен, 1906–1916
\hbar	$1,054573 \cdot 10^{-34}$ Дж·с	М. Планк, 1900	Р. Міллікен, 1914
m_e	$9,109382 \cdot 10^{-31}$ кг	Дж. Томсон, 1897	Р. Толмен, Т. Стюарт, 1916
m_p	$1,672622 \cdot 10^{-27}$ кг	Е. Резерфорд, 1919	Е. Резерфорд, 1919
m_n	$1,674927 \cdot 10^{-27}$ кг	Е. Резерфорд, У. Харкінс, 1920	Дж. Чедвик, 1932
N	3	І. Кант, 1747	Аристотель, IV ст. до н. е.
H	(71 ± 10) км/(с·Мпк)	Е. Хаббл, 1929	Е. Габбл, 1929

Число e , що виникає як друга чудова границя, має величезний спектр застосування: від натуральних логарифмів і теорії ймовірностей до хвильової оптики і поширення хвиль густини в спіральних галактиках. Це також зумовлене *симетричними властивостями простору-часу*, а саме: їх *однорідністю* [3]. Справа в тому, що в однорідному просторі-часі (де виконуються закони збереження енергії та імпульсу) закони перебігу фізичних процесів є сталими і тому описуються *диференціальними рівняннями зі сталими коефіцієнтами*. Розв'язком таких рівнянь є функція комплексної змінної з основою e

(рівняння хвилі). Експонента виникає також як результат інтегрування диференціальних рівнянь, які описують процеси, де відносні зміни якої-небудь величини пропорційні самій величині. Так розвивається, наприклад, радіоактивний розпад або інфляція (як грошова, так і розширення Метагалактики на ранньому етапі її еволюції, яку так і називають – "інфляційна стадія"). З цього приводу можна згадати також універсальний психофізичний закон Вебера-Фехнера, надзвичайно важливий для всього живого на Землі (і наслідком якого є формула Погсона, що пов'язує зоряні величини й освітленості).

Щодо фундаментальних констант фізики, то, наприклад, швидкість поширення світла c – константа, яка була виміряна однією з перших, проте статут фундаментальної отримала лише після створення А. Ейнштейном спеціальної теорії відносності. Фундаментальність її полягає в тому, що це є максимальна швидкість поширення взаємодій у спостережуваному Всесвіті. Гравітаційна стала G характеризує інтенсивність гравітаційної взаємодії тіл. Елементарний заряд e (зазначимо що, з відкриттям кварків його некоректно називати елементарним, але це найменший заряд, що трапляється у вільному стані) – відіграє роль константи зв'язку, що показує, як сильно елементарна частинка (заряджена) взаємодіє з подібною до себе. Стала Планка \hbar – мінімальний квант дії (інакше, квант кутового моменту). Фундаментальність мас електрона, протона й нейтрона полягає в тому, що це маси частинок, з яких складається речовина Метагалактики (на сьогодні протон і нейтрон вже не вважаються елементарними, оскільки складаються з кварків, проте кварки у вільному стані не спостерігаються). Фундаментальність розмірності простору вперше обґрунтував П. Еренфест [2], продемонструвавши, як сильно фізика залежить від цієї величини. Ми пропонуємо включити до списку фундаментальних констант також сталу Габбла H . Ця стала визначає: темп розширення Метагалактики; критичну густину Метагалактики, від якої залежить її подальша еволюція; вік Метагалактики.

Слід зазначити, що ми наводимо найменший список фундаментальних фізичних констант. Наприклад, О.П. Спірідонов, автор посібника для студентів "Фундаментальні фізичні сталі" [17], наполягає на включенні до нього сталої Больцмана k , проте його аргументи не можна вважати переконливими.

Фундаментальні константи фізики є однією з великих нерозв'язаних проблем сучасної науки. Виміряні експериментально з великою точністю, вони досі не мають скільки-небудь переконливої теоретичної інтерпретації. *Чому фундаментальні константи мають саме такі числові значення?* Донедавна такі запитання у фізиці взагалі було не прийнято задавати.

Числове значення жодної константи не виводиться з існуючих фізичних теорій. На перший погляд це здається зрозумілим, оскільки відомі числові значення природно залежать від сваволі у виборі одиниць фізичних величин. Проте й перехід до безрозмірних констант, що характеризують електромагнітну ($\alpha_e \approx 1/137$), сильну ($\alpha_s \sim 1$), слабку ($\alpha_w \sim 10^{-5}$) та гравітаційну ($\alpha_g \sim 10^{-39}$) взаємодії, не знімає цю проблему. Цілковито можна погодитись з О.П. Спірідоновим [17], що все ж таки фізику важко вважати досконалою, поки проблема фундаментальних констант не знайде свого теоретичного розв'язання.

До того ж під кінець ХХ століття завдяки дослідженням цієї проблеми передусім І.Л. Розенталем, П. Девісом, Л.Б. Окунем та іншими [4; 14–16] вдалося з'ясувати, що характерні параметри і стійкість основних структурних елементів Метагалактики – ядер, атомів, планет, зір, галактик – надзвичайно чутливі до числових значень фундаментальних констант.

Наприклад, можна показати [12; 15], що характерна маса зір за порядком величини визначається співвідношенням

$$M \sim \alpha_g^{-\frac{3}{2}} m_p, \quad (1)$$

де α_g – фундаментальна безрозмірна константа гравітаційної взаємодії, m_p – маса протона, а характерна маса гідрогенових планет (подібних до наших Юпітера і Сатурна) –

$$M \sim \left(\frac{\alpha_e}{\alpha_g} \right)^{\frac{3}{2}} m_p, \quad (2)$$

де α_e – фундаментальна безрозмірна константа електромагнітної взаємодії.

Порівняно невелике уявне "ворушіння" числових значень фундаментальних констант спричиняє катастрофічні наслідки для нашого Всесвіту. Стало зрозуміло, що за трохи іншого набору фундаментальних констант наш світ буде зовсім іншим, наприклад, без звичайних для нас зір або без складних хімічних елементів, без відомого нам життя. Більше того, значення констант мають не просто перебувати в певних межах, а мають бути відповідним чином *збалансовані між собою*. Проблема фундаментальних констант набуває, таким чином, глобального значення.

У сімдесяті роки ХХ ст. Б. Картер вдало формулює антропний принцип [9], який відразу привертає увагу багатьох учених. Сутність його (див. [11]) полягає в тому, що існує тонке підстроювання спостережуваного Всесвіту під людину.

На думку відомого еволюційного біолога Річарда Докінза, саме антропний принцип є альтернативою релігійним поглядам [5]. Справа в тому, що антропний принцип у його сильному формулюванні ("сильний" АП, [9]) підштовхує нас до теологічного погляду на світ, приводить до ідеї Творця, Конструктора цього світу. Матеріалістичною альтернативою таким поглядам є ідея "ансамблю світів" (останнім часом все частіше використовується назва "мультиверс") – всесвітів із різними фундаментальними властивостями, в одному з яких умови випадково виявилися сприятливими для виникнення життя й людини. За влучним висловлюванням відомого космолога О.Л. Зельманова ми є свідками саме такого світу та процесів, що в ньому відбуваються, оскільки в інших світах усі процеси відбуваються без свідків [8].

Відомий російський астрофізик Й.Л. Розенталь доходить висновку: "Мабуть, наша Метагалактика – гігантська флуктуація (у сенсі числового значення фундаментальних сталих) серед інших всесвітів. Ця флуктуація – основа складної структури Метагалактики" [16].

Слід зазначити, що гіпотеза флуктуаційного походження всіх фундаментальних фізичних сталих є давно відомою, її широко обговорювали в науковій літературі. Про це говорив ще Л. Больцман. Символічна назва однієї з книжок, присвячених ролі фундаментальних сталих у спостережуваній структурі Всесвіту, – "Випадковий Всесвіт" [4].

Антропний принцип висвітлює глибинні, сутнісні зв'язки між мікро-, макро- і мегасвітом, засади існування спостережуваного Всесвіту і життя в ньому. Ці зв'язки і засади становлять сучасну наукову картину світу, є основою її цілісного сприйняття.

Аналіз цих проблем дає змогу з єдиних позицій підійти до розгляду практично всіх основних розділів фізики та астрофізики. Фундаментальні константи ніби зв'язують їх в одне ціле, являючись невід'ємними характеристичними параметрами всіх найважливіших фізичних і астрофізичних теорій – тяжіння та теорій відносності (спеціальної та загальної), атомної та ядерної фізики, хвильової оптики, статистичної фізики та термодинаміки, квантової механіки, теорії будови та еволюції зір, фізики елементарних частинок і космології. Розуміння суті проблеми неможливе без синтезу досягнень усієї фізики, її сучасних теорій взаємодій, астрофізики. В процесі такого аналізу виникають питання загальнонаукового, методологічного, світоглядного характеру.

Все це зумовило завдання спецкурсу і його програму.

Завданнями спецкурсу є:

1. Розкрити місце і значення фундаментальних констант у загальній і професійній освіті; провести методологічний аналіз самого поняття "фундаментальна константа", аналіз змісту існуючих таблиць фізичних констант, їх розмірностей; розглянути термінологічні питання та проблеми точного вимірювання числових значень констант.

2. Показати, наскільки характерні параметри мікросвіту і космічних тіл залежать від числових значень фундаментальних констант.

3. З'ясувати залежність фундаментальних фізичних констант від часу, вплив числових значень констант на стійкість основних структурних елементів Метагалактики (ядер, атомів, зір, галактик).

4. Детально обговорити антропний принцип, його різні формулювання, проілюструвати його зміст достатньою кількістю прикладів. Провести аналіз можливих інтерпретацій антропного принципу. Зосередити увагу студентів на можливому трактуванні числових значень фундаментальних констант як флуктуацій (гіпотеза "ансамблю світів"), обговорити проблему формування цих числових значень на ранніх етапах еволюції Метагалактики.

5. Прослідкувати шляхи розвитку фізики від єдиної теорії поля до єдиної теорії взаємодій. Розглянути астрофізичний аспект.

6. Завершити формування сучасної астрофізичної картини світу як складової частини природничонаукової картини світу.

7. Здійснювати інтелектуальне, естетичне та гуманітарне виховання студентів.

8. Підвищити методологічну та креативну культуру майбутнього вчителя.

Програма спецкурсу, що розроблена автором, виглядає так:

1. Вступ. Постановка проблеми фундаментальних констант.

Таблиці фізичних сталих. Визначення поняття "фундаментальна фізична константа". Які фізичні сталі можуть вважатися фундаментальними? Перелік та числові значення фундаментальних констант фізики і математики. Обґрунтування фундаментальності певних математичних і фізичних констант.

2. Фундаментальні математичні константи.

Визначення числа π . Число π і евклідова геометрія. Число π і симетричні властивості простору. Визначення числа e . Друга чудова границя. Експоненціальна функція. Застосування експоненціальної функції у розв'язанні диференціальних рівнянь. Логарифмічна спіраль і спіральні галактики.

3. Фундаментальні константи і розмірність фізичних величин.

Значення точності вимірювання фундаментальних фізичних констант. Системи одиниць фізичних величин. Основні одиниці в системі СІ: історія і сучасні значення. Умовність одиниць фізичних величин. Природні одиниці величин квантової електродинаміки. Визначення безрозмірних констант фундаментальних взаємодій: α_e , α_g , α_s , α_w .

4. Суперконстанти: c , G , \hbar .

c , G , \hbar – фізика. "Куб фізичних теорій" в системі координат c , G , \hbar . Шкала Планка. Знаходження планківських величин методом аналізу розмірностей.

5. Характерні параметри космічних тіл і фундаментальні константи.

Вираз характерних параметрів зір і планет через фундаментальні константи: характерна маса планети; характерний розмір планети; характерна маса зорі; характерний розмір зорі; характерні маса і розмір білого карлика, характерний розмір чорної діри.

6. Стійкість основних структурних елементів Метагалактики і фундаментальні константи.

Уявні експерименти із зміни: швидкості світла, мас електрона, протона та нейтрона, вимірності простору. Уявні експерименти із зміни безрозмірних констант фундаментальних взаємодій.

7. Антропний принцип.

Збіги "великих чисел". "Гіпотеза великих чисел" (гіпотеза Дірака). Приклади підстроювання параметрів Метагалактики під існування людини. Слабкий антропний принцип. Проблема утворення Карбону у Всесвіті. Сильний антропний принцип. Інтерпретація слабого антропного принципу. Числові значення фундаментальних констант як флуктуації. Інтерпретація сильного антропного принципу.

8. Куди прямує фізика?

Залежність фундаментальних констант від часу. Залежність безрозмірних констант фундаментальних взаємодій від енергії процесів. Шляхи розвитку фізики: від єдиної теорії поля до єдиної теорії взаємодій. Теорія "Великого об'єднання". Супероб'єднання.

У цьому спецкурсі лекції супроводжуються практичними заняттями, де студенти розв'язують спеціально підібрані задачі. Орієнтовний перелік тем *практичних занять* пропонується такий:

1. Фундаментальні математичні константи.
2. Історичні досліди з вимірювання фундаментальних констант фізики.
3. Системи одиниць фізичних величин.
4. Характерні параметри мікросвіту і фундаментальні константи.
5. Характерні параметри космічних тіл і фундаментальні константи.
6. Стійкість основних структурних елементів Метагалактики і числові значення фундаментальних констант.
7. Антропний принцип.

Такий спецкурс автор вже близько 20 років викладає в Херсонському державному університеті. За нашими спостереженнями він дійсно сприяє розвитку творчого мислення, формуванню єдиної астрофізичної картини світу, наукового світогляду.

Подальших досліджень на предмет фундаментальності потребують ферміївська константа зв'язку G_F і маса W -бозона.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Гончаренко С.У. Принцип фундаменталізації освіти / С.У. Гончаренко // Наукові записки. – Кіровоград: КДПУ ім. В. Винниченка, 2004. – Вип. 55. – Серія: Педагогічні науки. – С. 3–8.
2. Горелик Г.Е. Почему пространство трехмерно? / Г.Е. Горелик. – М.: Наука, 1982. – 168 с.
3. Горобец Б.С. Мировые константы π и e в Природе / Б.С. Горобец // Земля и Вселенная. – 2003. – № 5. – С. 69–76.
4. Девис П. Случайная Вселенная / П. Девис; пер. с англ. В.Е. Чертопрада / Под ред. А.Г. Дорошкевича. – М.: Мир, 1985. – 160 с.
5. Докинз Р. Бог как иллюзия / Ричард Докинз; пер. с англ. Н. Смелковой. – М.: Издательство КоЛибри, 2010. – 560 с.
6. Еремеева А.И. Астрономическая картина мира и научные революции / А.И. Еремеева // Вселенная, астрономия, философия. – М.: Изд-во МГУ, 1988. – С. 169–180.
7. Жуков А.В. Вездесущее число π / А.В. Жуков. – М.: Издательство ЛКИ, 2007. – 216 с.
8. Зельманов А.Л. Проблема экстраполябельности, антропологический принцип и идея множественности вселенных / Вселенная, астрономия, философия / А.Л. Зельманов. – М.: Изд-во МГУ, 1988. – С. 77–79.
9. Картер Б. Совпадения больших чисел и антропологический принцип в космологии / Б. Картер / Космология. Теория и наблюдения / Под ред. М. Лонгеира; пер. с англ. А.Г. Полнарева и С.Ф. Шандарина / Под ред. Я.Б. Зельдовича и И.Д. Новикова. – М.: Мир, 1978. – С. 369–380.
10. Кондратьев В.В. Фундаментализация профессионального образования специалистов на основе непрерывной математической подготовки в условиях технологического университета: дис. ... доктора пед. наук: 13.00.08 / Кондратьев Владимир Владимирович. – Казань, 2000. – 421 с.
11. Кузьменков С. Антропний принцип як стрижнева ідея фундаменталізації астрономічної освіти / Сергій Кузьменков // Фізика та астрономія в школі. – 2011. – № 4. – С. 20–24.
12. Кузьменков С.Г. Зорі: Астрофізичні задачі з розв'язаннями: навч. посіб. / С.Г. Кузьменков. – К.: Освіта України, 2010. – 206 с.

13. Ландау Л.Д. Теория поля / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – М.: Наука, 1973. – 504 с. (Серия: "Теоретическая физика", том II).
14. Окунь Л.Б. Фундаментальные константы физики / Л.Б. Окунь // УФН. – 1991. – Т. 161. – № 9. – С. 177–194.
15. Розенталь И.Л. Физические закономерности и численные значения фундаментальных постоянных / И.Л. Розенталь // УФН. – 1980. – Т. 131. – Вып. 2. – С. 239–256.
16. Розенталь И.Л. Элементарные частицы и структура Вселенной / И.Л. Розенталь. – М.: Наука, 1984. – 112 с.
17. Спиридонов О.П. Фундаментальные физические постоянные: Учеб. пособие для вузов / О.П. Спиридонов. – М.: Высш. шк., 1991. – 238 с.
18. Суханов Е.А. Проблемы реформирования высшего юридического образования в России / Е.А. Суханов // Вестник МГУ. Серия 11. Право. – 1996. – № 5. – С. 3–14.

Кузьменков С.Г.

*СПЕЦКУРС "ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ
КОНСТАНТЫ" КАК ШАГ К ФУНДАМЕНТАЛИЗАЦИИ ФИЗИЧЕСКОГО
И АСТРОНОМИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ*

Статья посвящена обоснованию целесообразности внедрения интегративного спецкурса "Фундаментальные физические и математические константы", который реализует в учебном процессе принцип фундаментализации образования и формирует у будущих специалистов физических специальностей единую астрофизическую картину мира.

Ключевые слова: фундаментализация образования, фундаментальные физические и математические константы, астрофизическая картина мира.

Kuzmenkov S.G.

*THE SPECIAL COURSE "FUNDAMENTAL PHYSICAL AND MATHEMATICAL CONSTANTS"
AS STEP TO FUNDAMENTALIZATION OF PHYSICAL
AND ASTRONOMICAL EDUCATION*

The article is proved reasonability of introduction of the integrative special course "Fundamental physical and mathematical constants", which implements the principle of fundamentalization education in the learning process and forms universal astrophysical world view to future experts of physical specialties.

Key words: fundamentalization education, fundamental physical and mathematical constants, astrophysical world view.