



РОЗВИТОК ПРИРОДНИЧИХ НАУК ЯК ОСНОВА НОВІТНІХ ДОСЯГНЕНЬ У МЕДИЦИНІ

DEVELOPMENT OF NATURAL SCIENCES AS A BASIS OF NEW ACHIEVEMENTS IN MEDICINE



Чернівці
19.06.24

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МІНІСТЕРСТВО ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я УКРАЇНИ
БУКОВИНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ МЕДИЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

МАТЕРІАЛИ

IV науково-практичної інтернет-конференції



**РОЗВИТОК
ПРИРОДНИЧИХ НАУК
ЯК ОСНОВА НОВІТНІХ
ДОСЯГНЕНЬ У
МЕДИЦИНІ**

*м. Чернівці
19 червня 2024 року*

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE
MINISTRY OF HEALTH OF UKRAINE
BUKOVINIAN STATE MEDICAL UNIVERSITY

CONFERENCE PROCEEDINGS

IV Scientific and Practical Internet Conference



DEVELOPMENT OF NATURAL SCIENCES AS A BASIS OF NEW ACHIEVEMENTS IN MEDICINE

Chernivtsi, Ukraine

June 19, 2024

УДК 5-027.1:61(063)

Р 64

Медицина є прикладом інтеграції багатьох наук. Наукові дослідження у сучасній медицині на основі досягнень фізики, хімії, біології, інформатики та інших наук відкривають нові можливості для вивчення процесів, які відбуваються в живих організмах, та вимагають якісних змін у підготовці медиків. Науково-практична інтернет-конференція «Розвиток природничих наук як основа новітніх досягнень у медицині» покликана змінювати свідомість людей, характер їхньої діяльності та стимулювати зміни у підготовці медичних кадрів. Вміле застосування сучасних природничо-наукових досягнень є запорукою подальшого розвитку медицини як галузі знань.

Конференція присвячена висвітленню нових теоретичних і прикладних результатів у галузі природничих наук та інформаційних технологій, що є важливими для розвитку медицини та стимулювання взаємодії між науковцями природничих та медичних наук.

Голова програмного комітету

Ігор ГЕРУШ ректор Буковинського державного медичного університету, професор

Заступник голови програмного комітету

Володимир ФЕДІВ завідувач кафедри біологічної фізики та медичної інформатики Буковинського державного медичного університету, професор, д.фіз.-мат.н

Програмний комітет

Марія ІВАНЧУК доцент закладу вищої освіти кафедри біологічної фізики та медичної інформатики Буковинського державного медичного університету, к.фіз.мат.н., доцент,

Віктор КУЛЬЧИНСЬКИЙ доцент закладу вищої освіти кафедри біологічної фізики та медичної інформатики Буковинського державного медичного університету, к.фіз.-мат.н.

Олена ОЛАР доцент закладу вищої освіти кафедри біологічної фізики та медичної інформатики Буковинського державного медичного університету, к.фіз.мат.н., доцент

Розвиток природничих наук як основа новітніх досягнень у медицині: матеріали IV науково-практичної інтернет-конференції, м. Чернівці, 19 червня 2024 р. / за ред. В. І. Федіва – Чернівці: БДМУ, 2024. – 311 с.

У збірнику подані матеріали науково-практичної інтернет-конференції «Розвиток природничих наук як основа новітніх досягнень у медицині». У статтях та тезах представлені результати теоретичних і експериментальних досліджень. Матеріали подаються в авторській редакції. Відповідальність за достовірність інформації, правильність фактів, цитат та посилань несуть автори.

Для наукових та науково-педагогічних співробітників, викладачів закладів вищої освіти, аспірантів та студентів.

Рекомендовано до друку Вченою Радою Буковинського державного медичного університету (Протокол №15 від 25.06.2024 р.)

Комп'ютерна верстка Марія ІВАНЧУК

ISBN 978 617 5190 92-0



1. О.В.Чалий, Я.В.Цехмістер, Б.Т.Агапов, А.В.Меленевська, М.І.Мурашко, Н.Ф. Радченко, Н.В. Стучинська. *Медична і біологічна фізика*. За ред. проф. Чалого О.В. Київ, Книга плюс, 2005. O.V.Chalyi, Y.V.Tsekhmister, B.T.Agapov, A.V.Melenevskaya, M.I.Murashko, N.F.Radchenko, N.V.Stuchynska. *Medical and Biological Physics*. Edited by Prof. A.V.Chalyi, Kyiv, Knyga plus, 2005.
2. A. Einstein. Ist die Tragheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig? *Ann. Phys.*, 18, 639-641, 1905.
3. Г.А. Лоренц, А. Пуанкаре, А. Ейнштейн, Г. Минковський. *Принцип відносності: Збірник праць класиків релятивізму*, 1935. H.A.Lorentz, H.Poincare, A.Einstein, H.Minkowski. *The Principle of Relativity: Collection of Work of Classics of Relativism*, 1935.
4. L.D. Landau and E.M. Lifshits. *The Classical Theory of Fields*. Oxford, Pergamon Press, 1971.
5. L.D. Landau and E.M. Lifshits. *Mechanics*. Oxford, Pergamon Press, 1976.
6. A. Einstein Lecture notes for course on relativity at the University of Berlin, winter semester 1914/1915. *The collected papers of Albert Einstein*. Princeton, NJ: Princeton Univ.Press, 1987.
7. L. Okun. The concept of mass. *Physics Today* 42, 31, 1989.
8. A.M. Gabovych, N. Gabovych. How to explain the non-zero mass of electromagnetic radiation consisting of zero-mass photons. *European Journal of Physics* 28, 649, 2007.
9. О.В. Чалий, Н.Л. Гриценко. Історичний розвиток поняття маси у фізичних теоріях XVII-XXI ст. 1. Класична механіка і теорія відносності. *Фізика та астрономія в сучасній школі* 3, 43, 2012. A.V. Chalyi, N.L. Grytsenko. Historical development of the concept of mass in physical theories of the XVII-XXI centuries. 1. Classical mechanics and the theory of relativity. *Physics and astronomy at modern school*, 3, 43, 2012.
10. О.В. Чалий, Н.Л. Гриценко. Історичний розвиток поняття маси у фізичних теоріях XVII-XXI ст. 2. Закон збереження маси в процесі електрон-позитронної анігіляції та медичний діагностичний метод ПЕТ. *Фізика та астрономія в сучасній школі* 6, 43, 2012. A.V. Chalyi, N.L. Grytsenko. Historical development of the concept of mass in physical theories of the XVII-XXI centuries. 2. The law of mass conservation in the process of electron-positron annihilation and in the PET diagnostic method. *Physics and astronomy at modern school*, 6, 43, 2012.

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПОЗИТРОННОЇ ЕМІСІЙНОЇ ТОМОГРАФІЇ: ЗАКОН ЗБЕРЕЖЕННЯ МАСИ ДЛЯ 2-ФОТОННОГО КОМПЛЕКСУ

Чалий О.В., Гриценко Н., Марголич І.Ф., Криштопа А.О.

Національний медичний університет імені О.О. Богомольця, Київ

avchalyi7@gmail.com, nataly812305@gmail.com, ryna.margolych@gmail.com,

alla335578@gmail.com

Анотація: Ця стаття присвячена дослідженню нетривіальної проблеми збереження маси в сучасному діагностичному методі позитронної емісійної томографії (ПЕТ). Фізична основа цього методу полягає в процесі анігіляції електронно-позитронної пари з утворенням двох гамма-квантів (фотонів), які розлітаються під кутом 180 градусів внаслідок закону збереження



імпульсу. Для досягнення мети дослідження буде застосована загальна релятивістська формула спеціальної теорії відносності (СТВ), яка встановлює зв'язок між енергією, масою та імпульсом в системі тіл (зокрема, елементарних частинок), які беруть участь в методі ПЕТ. Зазначена формула узагальнює знамениту формулу Альберта Ейнштейна $E=mc^2$, яка виявляється справедливою лише у випадку нульового значення імпульсу, тобто встановлює закон еквівалентності тільки для енергії спокою і маси спокою тіла. В цій статті, яка носить в першу чергу науково-методичний характер, будуть розглянуті проблеми маси фотона та неадитивності маси системи з двох фотонів в СТВ, а також будуть визначені умови, за яких закон збереження маси виконується для 2-фотонного комплексу в ПЕТ-методі, незважаючи на ту обставину, що сам фотон представляє собою безмасову частинку.

Ключові слова: позитронна емісійна томографія (ПЕТ); процес анігіляції електрона та позитрона; відсутність маси спокою фотона; формула для маси 2-фотонного комплексу; закон збереження маси в діагностичному методі ПЕТ.

1. Вступ

Раніше в ряді досліджень (див., наприклад, [1-4]) та в статті цього циклу [5], який присвячений проблемі збереження маси в процесі анігіляції електрона і позитрона з утворенням двох гамма-квантів в сучасному діагностичному методі ПЕТ [6], були з'ясовані такі факти:

1. Існує лише єдина маса тіла, котра визначається масою спокою m і залишається незмінною, тобто є скалярним інваріантом, в результаті перетворень Лоренца для 4-вимірної системи координат і часу та для 4-вимірного вектора імпульсу-енергії в СТВ.

2. Поняття релятивістської маси

$$m_p = \frac{m}{\sqrt{1-v^2/c^2}}, \quad (1)$$

яка залежить від швидкості та аномально зростає з наближенням швидкості v тіла до швидкості світла, є хибним через штучне об'єднання маси спокою m з множителем $1 / \sqrt{1-v^2/c^2}$. Насправді зростає не маса m_p , а повна енергія E тіла

$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}}, \quad (2)$$

що рухається з великою швидкістю v . Точніше кажучи, зростає кінетична енергія E_k тіла,

$$E_k = mc^2 (1 / \sqrt{1 - v^2 / c^2} - 1) \quad (3)$$

яка є різницею між повною енергією E , котра визначається формулою (2), та енергією спокою $E_c = mc^2$, яка не залежить від швидкості v руху тіла.

Надалі в цій статті буде зосереджена увага на питанні, чи діє або порушується закон збереження маси при анігіляції електронно-позитронної пари, тобто в процесі взаємодії матерії та антиматерії, з утворенням двох фотонів – квантів електромагнітного поля в діапазоні гамма випромінювання.

2. Доведення відсутності маси у фотона

Для підтвердження факту відсутності маси у фотона скористуємося релятивістською загальною формулою спеціальної теорії відносності (СТВ), яка встановлює зв'язок між енергією E , масою m та імпульсом P для довільного тіла [1-5]. Цим тілом може бути, наприклад, електрон або позитрон, які рухаються з достатньо високої швидкістю, щоб враховувати ефекти СТВ.

Як було зазначено раніше (зокрема, в [5]), в підручниках [7,8], які входять до складу 10-томного класичного курсу теоретичної фізики Ландау і Ліфшиця, міститься послідовне доведення важливої релятивістської формули СТВ для зв'язку між енергією E , масою m та імпульсом P . Напишемо цю формулу в наступному вигляді відносно шуканої маси фотона (гамма кванта):

$$m = \left(\frac{E^2}{c^4} - \frac{p^2}{c^2} \right)^{1/2}. \quad (4)$$

Для встановлення значення маси фотона m_ϕ підставимо в формулу (4) такі відомі вирази для енергії E_ϕ та модуля імпульсу p_ϕ фотона:

$$E_\phi = h\nu = hc/\lambda, \quad (5)$$

$$p_\phi = h\nu/c = h/\lambda. \quad (6)$$

У формулах (5) і (6) використані такі позначення: h - це стала Планка, ν і λ – це частота і довжина хвилі електромагнітного випромінювання, а через c позначена швидкість розповсюдження електромагнітної хвилі у вакуумі. Легко побачити, що підстановка таких виразів (5) - (6) для енергії та імпульсу фотона в праву частину релятивістської формули (4) дає для маси фотона нульове значення: $m_\phi = 0$.

Таким чином, фотон є елементарної частинкою з нульовою масою спокою, котра має енергію та імпульс у відповідності до формул (5) і (6). Зараз вважається, що верхня межа для маси фотона не перевищує значення 10^{-63} кг (див. посилання в [4]). Можливо, такою ж властивістю відсутності маси спокою має володіти і гравітон – гіпотетичний квант гравітаційного

поля, що також, як і фотон, ймовірно повинен рухатись у вакуумі з тією ж швидкістю c . Раніше до трійки подібних елементарних частинок відносили і нейтріно, оскільки вважалось, що у нейтріно немає маси спокою. Проте, у 2015 році Т. Кадзита і А. Макдональд отримали Нобелівську премію з фізики за відкриття так званих нейтрінних осциляцій, які доводять існування дуже малих, але відмінних від нуля мас спокою у всіх трьох видів нейтріно.

3. Маса системи з двох фотонів та закон збереження маси в діагностичному методі ПЕТ

Важлива проблема знаходження маси системи з двох фотонів за умови відсутності маси спокою у кожного з цих фотонів була досліджена авторами статті [2], а також у застосуванні до діагностичного методу ПЕТ в статті [4]. Беручи до уваги умови адитивності енергії та імпульсів для системи з двох фотонів, релятивістську формулу (4) для маси спокою m_{12} такого комплексу можна представити за допомогою такої формули:

$$m_{12} = \sqrt{(E_1 + E_2)^2/c^4 - 0^2/c^2}. \quad (7)$$

Отриманий в (7) результат дозволяє зробити важливий висновок, що стосується неадитивності маси в релятивістській теорії, тому що має місце наступна нерівність:

$$m_{12} \neq m_1 + m_2. \quad (8)$$

Розглянемо тепер **перший випадок**, коли **вектори різних за величиною імпульсів обох фотонів є паралельними**, тобто мають місце такі формули:

$$\vec{p}_1 = p_1 \vec{n}_1, \quad \vec{p}_2 = p_2 \vec{n}_2, \quad (9)$$

причому одиничні вектори, які задають напрямок руху фотонів, є паралельними між собою, тобто $\vec{n}_1 = \vec{n}_2 = \vec{n}$. Тоді, приймаючи до уваги зв'язок $E = c|\vec{p}|$ між енергією і модулем імпульсу фотона, маємо наступний результат для квадрата суми паралельних імпульсів двох фотонів:

$$(\vec{p}_1 + \vec{p}_2)^2 = (E_1 + E_2)^2/c^2. \quad (10)$$

Як легко побачити на основі формул (7) та (10), другий від'ємний доданок в точності дорівнює першому додатному доданку під квадратним коренем у формулі (7).

В результаті для цього випадку маємо такий висновок: **за умови паралельності векторів імпульсів обох фотонів відсутня не тільки маса спокою кожного окремого фотона, але й дорівнює нулю маса спокою всього комплексу з двох фотонів ($m_{12} = 0$).**

Перейдемо до розгляду **другого випадку**, коли **вектори різних за величиною імпульсів обох фотонів є антипаралельними**, тобто $\vec{n}_1 = -\vec{n}_2$ і має місце така формула:

$$m_{12} = 2h\sqrt{\nu_1\nu_2}/c^2. \quad (11)$$

Формула (11) дає всі підстави стверджувати, що в цьому випадку маса m_{12} відмінна від нуля.

На закінчення цього параграфа розглянемо *третій випадок*, який реалізується в сучасному діагностичному методі ПЕТ [6], коли високоенергетичні фотони електромагнітного випромінювання гамма діапазону мають однакові за модулем і антипаралельні за напрямком вектори імпульсів. В цьому випадку, як було показано в [4], маса електрон-позитронного комплексу в точності дорівнює масі 2-фотонного комплексу.

4. Висновки

У цій статті була обговорена важлива проблема сучасного діагностичного методу позитронної емісійної томографії (ПЕТ) щодо виконання закону збереження маси при анігіляції електронно-позитронної пари, тобто в процесі взаємодії матерії та антиматерії, з утворенням двох фотонів – квантів електромагнітного поля в діапазоні гамма-випромінювання.

Проведені дослідження базуються на послідовному використанні таких двох формул: а) релятивістської формули (4) для зв'язку енергії, маси та імпульсу, яка узагальнює знамениту формулу Ейнштейна $E=mc^2$, справедливу лише для стану спокою, коли імпульс тіла дорівнює нулю, а також б) формули (7) для маси 2-фотонного комплексу.

Доведено, що для виконання закону збереження маси елементарних частинок, які беруть участь в процесі анігіляції електрона і позитрона з утворенням двох гамма-квантів у методі ПЕТ, необхідно, щоб високоенергетичні фотони електромагнітного випромінювання гамма діапазону мали однакові за модулем і антипаралельні за напрямком вектори своїх імпульсів.

Список використаних джерел

1. L. Okun. The concept of mass. *Physics Today* 42, 31, 1989.
2. A.M. Gabovych, N. Gabovych. How to explain the non-zero mass of electromagnetic radiation consisting of zero-mass photons. *European Journal of Physics* 28, 649, 2007.
3. О.В. Чалий, Н.Л. Гриценко. Історичний розвиток поняття маси у фізичних теоріях XVII-XXI ст. 1. Класична механіка і теорія відносності. *Фізика та астрономія в сучасній школі* 3, 43, 2012. A.V. Chalyi, N.L. Grytsenko. Historical development of the concept of mass in physical theories of the XVII-XXI centuries. 1. Classical mechanics and the theory of relativity. *Physics and astronomy at modern school*, 3, 43, 2012.
4. О.В. Чалий, Н.Л. Гриценко. Історичний розвиток поняття маси у фізичних теоріях XVII-XXI ст. 2. Закон збереження маси в процесі електрон-позитронної анігіляції та медичний діагностичний метод ПЕТ. *Фізика та астрономія в сучасній школі* 6, 43, 2012. A.V. Chalyi, N.L. Grytsenko. Historical development of the concept of mass in physical theories of the XVII-XXI centuries. 2. The law of mass conservation in the process of electron-positron annihilation and in the PET diagnostic method. *Physics and astronomy at modern school*, 6, 43, 2012.



5. О.В. Чалий. Теоретичні основи позитронної емісійної томографії: 1. Границі застосування формули $E=mc^2$ в спеціальній теорії відносності та хибність поняття релятивістської маси, яка залежить від швидкості. *Збірка праць IV інтернет-конференції «Розвиток природничих наук як основа новітніх досягнень у медицині»*, Чернівці, 2024. O.V.Chalyi/ Theoretical basis of positron emission tomography: 1. Limits of application of the formula $E=mc^2$ in the special theory of relativity and the fallacy of the concept of relativistic mass, which depends on speed. *Collection of Works of the IV Internet-Conference “The Development of Natural Sciences as the Basis for the Latest Advances in Medicine”*, Chernivtsi, 2024.
6. О.В.Чалий, Я.В.Цехмістер, Б.Т.Агапов, А.В.Меленевська, М.І.Мурашко, Н.Ф. Радченко, Н.В. Стучинська. *Медична і біологічна фізика*. Київ, Книга плюс, 2005. O.V.Chalyi, Y.V.Tsekhmister, B.T.Agarov, A.V.Melenevska, M.I.Murashko, N.F.Radchenko, N.V.Stuchynska. *Medical and Biological Physics*. Edited by Prof. A.V.Chalyi, Kyiv, Knyga plus, 2005.
7. L.D. Landau and E.M. Lifshits. *The Classical Theory of Fields*. Oxford, Pergamon Press, 1971.
8. L.D. Landau and E.M. Lifshits. *Mechanics*. Oxford, Pergamon Press, 1976.

НОВІ ХІРАЛЬНІ ДОМІШКИ РІДКОКРИСТАЛІЧНИХ СТРУКТУР НА ОСНОВІ АЗО-БЕНЗЕНУ ТА L-МЕНТОЛУ

Чорноус В.О., Грозав А.М., Перепелиця О.О.

Буковинський державний медичний університет, Чернівці, Україна

chornous.vitalij@bsmu.edu.ua

Ми представляємо нещодавно синтезований хіральний допант 2-[(2-ізопропіл-5-метилциклогексил)окси]-2-оксоетил-4-{(E)-[4-(децилокси)феніл]діазеніл}бензоат (ChD-3501), що складається азо- та аліфатичних фрагментів разом із хіральним центром на основі l-ментолу як оборотного світлоконтрольованого хірального допанду. Щоб оцінити вплив UV/VIS опромінення та температури в ізотропному та рідкокристалічному (РК) станах, було досліджено спектральну кінетику етанольного розчину ChD3501, а також індукцію холестеричної спіралі при його розчиненні в нематичному РК (E7) (використовується як хіральна добавка). Концентраційну залежність кроку спіралі індукованих холестериків досліджували за допомогою методу Гранжана-Кано та визначали силу спіралі ChD-3501 у нематичному хазяїні E7. Було вивчено оборотну транс-цис-ізомеризацію хірального допанду ChD-3501 в E7 під УФ/ВІД опроміненням і встановлено, що зберігання цис-ізомеру при певній постійній температурі також призводить до оборотної ізомеризації, яка представляє певний інтерес для отримання рідкокристалічних сумішей.