



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-22-3-101-105>

Оригинальная статья
Original paper

Краткое сообщение

УДК 621.385.6

КРАСНОЕ СМЕЩЕНИЕ И ПОСТОЯННАЯ ЗАТУХАНИЯ ЭНЕРГИИ ФОТОНА В ВАКУУМЕ

А. А. КУРАЕВ, В. В. МАТВЕЕНКО

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
(г. Минск, Республика Беларусь)

Поступила в редакцию 30.08.2023

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2024
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2024

Аннотация. На основе квантовых представлений о структуре вакуума и данных о красном смещении спектров излучателя удаленных галактик получена оценка минимального значения постоянной затухания энергии фотона в вакууме α : $\alpha = 8 \cdot 10^{-19} \text{ м}^{-1}$. Предположено, что космическое микроволновое излучение частично является тепловым излучением вакуума, нагретого фотонными потоками бесконечной вселенной. Несмотря на бесконечность вселенной, небо темное именно из-за поглощения энергии фотонов далеких и сверхдалеких галактик в вакууме, а не только из-за поглощения самих фотонов при различных взаимодействиях с компонентами газовых и пылевых межгалактических скоплений. Тем самым спектр излучения сверхдалеких объектов трансформируется в микроволновой диапазон, что дополняет интенсивность теплового излучения в нем. Показана несостоятельность альтернативных объяснений красного смещения: доплеровского эффекта в космологической модели расширяющейся вселенной и Большого взрыва, гравитационного смещения.

Ключевые слова: красное смещение, фотон, вакуум, микроволновое излучение, постоянная затухания.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Кураев, А. А. Красное смещение и постоянная затухания энергии фотона в вакууме / А. А. Кураев, В. В. Матвеев // Доклады БГУИР. 2024. Т. 22, № 3. С. 101–105. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-22-3-101-105>.

REDSHIFT AND PHOTON ENERGY ATTENUATION CONSTANT IN VACUUM

ALEXANDER A. KURAYEV, VLADIMIR V. MATVEYENKA

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (Minsk, Republic of Belarus)

Submitted 30.08.2023

Abstract. There obtained an estimate of the minimum value of the photon energy attenuation constant in vacuum α : $\alpha = 8 \cdot 10^{-19} \text{ m}^{-1}$ based on quantum concepts of the structure of vacuum and data on the red shift of the emitter spectra of distant galaxies. Presumably, the cosmic microwave radiation is partly the thermal vacuum radiation heated by the photon fluxes from the infinite universe. Despite the universe infinity, the sky is dark precisely due to the photon's energy absorption from distant and ultra-distant galaxies in vacuum, and not only the photon absorption during various interactions with the gas or dust components of intergalactic clusters. Thus, the emission spectrum of these ultra-distant objects is transformed into the microwave range, which complements the intensity of thermal radiation in this range. The inconsistency of alternative explanations for the red shift is shown: the Doppler effect in the cosmological model of the expanding universe and the Big Bang, and the gravitational shift.

Keywords: redshift, photon, vacuum, microwave radiation, attenuation constant.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interest.

For citation. Kurayev A. A., Matveyenka V. V. (2024) Redshift and Photon Energy Attenuation Constant in Vacuum. *Doklady BGUIR*. 22 (3), 101–105. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-22-3-101-105> (in Russian).

Красное смещение спектров излучения внегалактических объектов было обнаружено в 1914 г. при исследовании туманностей, которые оказались галактиками, подобными нашей, – галактике Млечный Путь. Систематическое исследование этого явления провел Е. Р. Хаббл [1] и установил закон зависимости красного смещения от расстояния до исследуемой галактики, названный его именем:

$$z = \frac{H_0 r}{c}, \quad (1)$$

где $z = \frac{v_0 - v}{v}$; v_0 – частота линии излучения (или поглощения) в спектре дальней галактики; v – частота той же линии спектра на Земле (оказалось, что для всех линий z одинакова); r – расстояние до исследуемой галактики; c – скорость света в вакууме.

Закон (1) выполняется, когда z мало, при больших z возникают поправки порядка высших степеней ($H_0 r c^{-1}$). Сразу после публикации в 1929 г. статьи [1] стали возникать различные гипотезы о сущности явления красного смещения, которые продолжают развиваться и конкурировать до наших дней. Обсудим существующие гипотезы.

1. Эффект Доплера. Общая теория относительности А. Эйнштейна (ОТО). Теория расширяющейся вселенной и Большого взрыва.

Эффект Доплера в случае перемещения источника излучения по отношению к приемнику со скоростью $\pm u$ выражается в сдвиге частоты [2]:

а) по волновой формуле

$$\frac{v_0}{v} = \left(1 \pm \frac{u}{c}\right)^{-1}; \quad (2)$$

б) по релятивистской формуле

$$\frac{v_0}{v} = \gamma^{-1} \left(1 \pm \frac{u}{c}\right)^{-1}, \quad \gamma = \left(1 - \frac{u^2}{c^2}\right)^{-\frac{1}{2}}. \quad (3)$$

Таким образом, получаем

$$z = \gamma \left(1 \pm \frac{u}{c}\right) - 1. \quad (4)$$

Следовательно, красное смещение может быть объяснено эффектом Доплера ($+u$). Но возникает два спорных момента:

1) красное смещение зависит от r , т. е. галактики в слое $r = \text{const}$ должны с одинаковой скоростью удаляться от нас;

2) по той же формуле (4) с учетом (1) необходимо, чтобы скорости удаления галактик возрастали так, чтобы удовлетворять условию

$$\gamma \left(1 \pm \frac{u}{c}\right) - 1 = \frac{H_0 r}{c}. \quad (5)$$

В 1917 г. А. Эйнштейн ввел в правую часть уравнения ОТО космологическую поправку – $\Lambda g_{\mu\nu}$, где Λ – космологическая постоянная; $g_{\mu\nu}$ – метрический тензор в Римановом пространстве [3]. Благодаря этой поправке при определенных положительных значениях Λ и выборе $g_{\mu\nu}$ оказалось возможным получить решения, соответствующие расширяющейся однородной и изотропной вселенной. Это направление развивалось до последнего времени как теория Большого взрыва и расширяющейся вселенной [4]. Но еще в прошлом веке высказывались сомнения в космологической теории, основанной на ОТО [5, 6]. Указывалось на то, что получаемые решения неоднозначны из-за определенного произвола в выборе Λ и $g_{\mu\nu}$, а также из-за утраты фундаментальных законов сохранения [6]. К тому же в теории расширяющейся вселенной в связи с тем, что по условию [4] для дальних галактик $z \gg 1$ и растет нелинейно по r , пришлось ввести неизвестную внефизическую «темную энергию», создающую дополнительные к решению ОТО антигравитационные силы. Действительно у галактики GN-z11 $z = 11,1$, у галактики HD1 $z = 13,27$. Как следует из (4), у этих галактик $\gamma \gg 1$, т. е. это ультрарелятивистские создания, что представ-

ляется невозможным. Кроме того, последние открытия с помощью телескопа «Джеймс Уэбб» также опровергают теорию Большого взрыва ($z > 20$). Таким образом, рассматриваемая версия происхождения красного смещения представляется мало обоснованной.

2. Гравитационное красное смещение.

В соответствии с основными положениями квантовой физики энергия фотона $E = h\nu$, а масса $m = \frac{h\nu}{c^2}$, где $h = 6,626196 \cdot 10^{-34}$ Дж·с – постоянная Планка. Ньютоновский потенциал у однородной сферической звезды $\Phi = \frac{GM}{r}$, где $G = 6,672 \cdot 10^{-11}$ м³·кг⁻¹·с⁻² – гравитационная постоянная; M – масса звезды. Из закона сохранения энергии получаем [5]

$$z = \frac{GM}{r_0 c^2}, \quad (6)$$

где r_0 – внешний радиус фотосферы звезды.

Данный эффект действительно имеет место, но его величина относительно мала. Так, для Солнца $z = 2 \cdot 10^{-6}$. Кроме того, гравитационное z не зависит от r , как это наблюдается у красного смещения. Таким образом, этот эффект просто вносит поправку в наблюдаемое красное смещение.

3. Взаимодействие фотонов с вакуумом.

В отличие от ОТО А. Эйнштейна в электромагнитной теории Максвелла–Герца, в ОТО Лоренца–Минковского, в квантовой физике вакуум – не пустота, а материальная среда, обладающая набором всех присущих материи свойств. В теории Максвелла–Лоренца вакуум обладает диэлектрической $\epsilon_0 = 8,8542 \cdot 10^{-12}$ Ф/м (т. е. способен поляризоваться под действием электрического поля) и магнитной $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м проницаемостями (способен намагничиваться в магнитном поле). Причем скорость распространения электромагнитных волн (света) в вакууме $c = (\epsilon_0 \mu_0)^{-0,5} = 2,99793 \cdot 10^8$ м/с.

В квантовой физике «по определению, вакуум есть состояние с наименьшей плотностью энергии» [7]. И там же: «Астрономия ... говорит о том, что плотность энергии вакуума заведомо меньше 10^{-28} Г/(см·с²)». В вакууме возникают виртуальные пары частиц-античастиц, существующие настолько малое время Δt , что свет не успевает распространиться от точки их возникновения, т. е. это точечное событие в пространстве Минковского. Действительно из соотношения неопределенности Гейзенберга $\Delta E \Delta t \geq \hbar$ (ΔE – энергия виртуальной частицы; Δt – время ее существования; $\hbar = h/(2\pi)$; h – постоянная Планка) следует, что $\Delta t = \hbar/\Delta E$. Для γ -кванта $\Delta E = hf$ и, следовательно, $\Delta t = 1/(2\pi f) = 1/\omega$, где ω – угловая частота γ -кванта. Таким образом, для виртуального γ -кванта время жизни $\Delta t \sim 5 \cdot 10^{-20}$ с. Следовательно, взаимодействие с ним – точечное в четырехмерном пространстве событие. Это означает, что вакуум нельзя представлять, как субстанцию, имеющую некоторую скорость перемещения: во всех системах отсчета (ускоренных или инерциальных) вакуум – неподвижная среда. Поэтому в любых системах отсчета скорость распространения электромагнитных волн одна и та же – $c = (\epsilon_0 \mu_0)^{-0,5}$. При действии на вакуум высокоэнергичных фотонов (γ -квантов) из него рождается пара электрон-позитрон. Известны статический и динамический квантовые эффекты Казимира. В первом обнаруживается внешнее давление вакуума на близко расположенные зеркальные металлические пластины, во втором – излучение фотонов при вибрации одной из пластин [8]. Эффект Казимира становится измеримым со значения расстояния между зеркалами $d = 40$ нм и возрастает пропорционально d^{-4} : $p = \frac{c\hbar\pi^2}{240d^4}$. При $d = 10$ нм

давление p достигает 1 атм. Зеркала образуют резонатор, осуществляющий частотную селекцию виртуальных фотонов, поэтому их число внутри резонатора меньше, чем снаружи.

Таким образом, взаимодействие фотонов со средой их распространения – вакуумом – очевидно. Происходят процессы поляризации и намагничивания вакуума в классическом понимании и квантовый обмен с точки зрения квантовой физики. При таких физически объективных процессах потери энергии фотона неизбежны [8]. А поскольку энергия фотона $E = h\nu$, красное смещение будет обусловлено потерей энергии фотона на пути распространения r . Такое объяснение не требует привлечения неизвестной «темной энергии» и теории Большого взрыва.

Расчет постоянной затухания энергии фотона в вакууме касается именно энергии фотона, а не светового потока, в котором часть фотонов поглощается при взаимодействии с материаль-

ными частицами межзвездного пространства. Считаем вакуум однородной и изотропной средой. Тогда уменьшение энергии фотона $E(r)$ можно представить в виде экспоненциального закона

$$\frac{E(r)}{E_0} = e^{-\alpha r}, \quad (7)$$

где E_0 – первоначальная энергия излученного фотосферой звезды фотона; α – постоянная затухания; $E(r) = h\nu$; $E_0 = h\nu_0$.

Тогда величина красного смещения z может быть представлена как

$$z = \frac{\nu_0 - \nu}{\nu} = \frac{E_0 - E}{E} = \frac{E_0}{E} - 1 = e^{\alpha r} - 1. \quad (8)$$

Рассмотрим случай, когда справедлив линейный закон Хаббла: $z \ll 1$, $\alpha r \ll 1$. Тогда

$$z \approx 1 + \alpha r - 1 = \frac{H_0}{c} r, \text{ или } \alpha = \frac{H_0}{c}, \quad (9)$$

где $H_0 \cong 2,4 \cdot 10^{-18} \text{ с}^{-1}$.

Подставляя в (9) значения H_0 и c , получаем $\alpha = 8 \cdot 10^{-19} \text{ м}^{-1}$. Это значение α следует считать минимальным, поскольку существуют другие причины снижения E фотона, например, указанное выше гравитационное красное смещение.

Остановимся на некоторых следствиях полученного результата.

1. В методе «стандартных свечей», используемом при определении расстояний до дальних галактик по яркости сверхновых типа 1А (считается, их светимость стандартна), следует учитывать α :

$$\frac{\mathcal{E}}{\mathcal{E}_0} = \left(\frac{r_0}{r}\right)^2 e^{-\alpha(r-r_0)}, \quad (10)$$

где \mathcal{E} – наблюдаемая яркость исследуемой 1А; \mathcal{E}_0 – наблюдаемая яркость репера 1А; r – расстояние до наблюдаемой 1А; r_0 – расстояние до репера 1А.

2. Из-за потерь энергии фотона в вакууме он нагревается до наблюдаемых 2,7 К. Именно с этим связано микроволновое излучение, а не с теорией Большого взрыва.

Следует попутно отметить, что весьма точные измерения суммы углов треугольников в космическом пространстве показали точно 180° , т. е. космическое пространство имеет евклидову структуру (как пространство-время Минковского), а не риманову, как в ОТО. Это тоже противоречит теории Большого взрыва.

Таким образом, можно сделать следующие выводы.

1. Полученные результаты не противоречат природе и не требуют привлечения неизвестных сущностей и явлений (таких как темная материя, темная энергия).

2. В пользу того, что красное смещение z – следствие потери энергии в вакууме, свидетельствуют измерения z для галактики Шредингера CEERS-93316. При первоначальном измерении $z = 16$, затем через период менее года у той же вновь найденной галактики оказалось $z = 5$. Такой факт не может быть объяснен внезапным изменением радиальной скорости галактики – слишком большой скачок. С точки зрения потери энергии фотона – это вполне объяснимо. В первом случае световой луч прошел зигзагообразный путь при многократном гравитационном линзировании, во втором – гораздо более короткий путь, близкий к прямолинейному. Поэтому потери энергии фотона (и, соответственно, z) в этом случае значительно меньше, чем в первом.

3. Имеется и чисто математическое доказательство необходимости существования потерь энергии электромагнитных волн в вакууме. Теорему единственности для внутренней и внешней задач электродинамики удастся доказать только в предположении, что в каждой точке пространства отличны от нуля (хотя, может, и весьма малы) потери энергии электромагнитного поля [9] (§10). В природе же единственность всегда имеет место. Так, существуют только расходящиеся от источника волны, а сходящиеся к источнику отсутствуют. То есть в природе предусмотрены хотя бы малые потери энергии фотонов в вакууме, как одной из конкретных сред распространения электромагнитных волн.

Список литературы

1. Hubble, E. P. Proc. Nat. Acad. Sci. / E. P. Hubble. 1929. Vol. 15, No 3. P. 168–173.
2. Ландеберг, Г. С. Общий курс физики. Т. 3. Оптика / Г. С. Ландеберг. М., 1952.
3. Эйнштейн, А. Сущность теории относительности / А. Эйнштейн. М., 1955.
4. Зельманов, А. Л. Космология. Физический энциклопедический словарь. Т. 2 / А. Л. Зельманов. М.: Сов. энцикл., 1962. С. 491–501.
5. Фок, В. А. Теория пространства, времени и тяготения / В. А. Фок. М., 1961.
6. Логунов, А. А. Лекции по теории относительности и гравитации. Современный анализ проблемы / А. А. Логунов. М.: Наука, 1987.
7. Зельдович, Я. Б. Драма идей в познании природы / Я. Б. Зельдович, М. Ю. Хлопов. М.: Наука, 1988.
8. Алеманов, С. Б. Квантовый закон Хаббла $v_n = nH_0$ / С. Б. Алеманов // Инженерная физика. 2014. № 3. С. 40–46.
9. Вайнштейн, Л. А. Электромагнитные волны / Л. А. Вайнштейн. М.: Радио и связь, 1988.

References

1. Hubble E. P. (1929) *Proc. Nat. Acad. Sci.* 15 (3). 168–173.
2. Landeberg G. S. (1952) *General Course of Physics. Vol. 3. Optics.* Moscow (in Russian).
3. Einstein A. (1955) *The Essence of the Theory of Relativity.* Moscow (in Russian).
4. Zelmanov A. L. (1962) *Cosmology. Physical Encyclopedic Dictionary, Vol. 2.* Moscow, Sovetskaya Encyclopedia Publ. 491–501 (in Russian).
5. Fok V. A. (1961) *Theory of Space, Time and Gravity.* Moscow (in Russian).
6. Logunov A. A. (1987) *Lectures on the Theory of Relativity and Gravitation. Modern Analysis of the Problem.* Moscow, Nauka Publ. (in Russian).
7. Zeldovich Ya. B., Khlopov M. Yu. (1988) *The Drama of Ideas in the Knowledge of Nature.* Moscow, Nauka Publ. (in Russian).
8. Alemanov S. B. (2014) Hubble's Quantum Law $v_n = nH_0$. *Engineering Physics.* (3), 40–46 (in Russian).
9. Vainshtein L. A. (1988) *Electromagnetic Waves.* Moscow, Radio i Svyaz Publ. (in Russian).

Вклад авторов / Authors' contribution

Авторы внесли равный вклад в написание статьи / The authors contributed equally to the writing of the article.

Сведения об авторах

Кураев А. А., д-р физ.-мат. наук, проф., проф. каф. информационных радиотехнологий, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Матвеенко В. В., канд. физ.-мат. наук, доц., доц. каф. вычислительных методов и программирования, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Адрес для корреспонденции

220013, Республика Беларусь,
г. Минск, ул. П. Бровки, 6
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники
Тел.: +375 17 293-89-56
E-mail: kurayev@bsuir.by
Кураев Александр Александрович

Information about the authors

Kurayev A. A., Dr. of Sci. (Phys. and Math.), Professor, Professor at the Information Radiotechnologies Department, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics

Matveyenka V. V., Cand. of Sci., Associate Professor, Associate Professor at the Computational Methods and Programming Department, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics

Address for correspondence

220013, Republic of Belarus,
Minsk, P. Brovki St., 6
Belarusian State University
of Informatics and Radioelectronics
Tel.: +375 17 293-89-56
E-mail: kurayev@bsuir.by
Kurayev Alexander Alexandrovich