

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

539.121

ИЗМЕНЯЕТСЯ ЛИ ЗАРЯД ЭЛЕКТРОНА С ВОЗРАСТОМ ВСЕЛЕННОЙ?*Я. М. Крамаровский, В. П. Чечев*

ВВЕДЕНИЕ

В последние два года в физической литературе снова интенсивно обсуждается проблема возможного изменения атомных постоянных с возрастом Вселенной ¹⁻⁶. Инициатива принадлежит Г. Гамову, который в 1967 г. в своей статье ¹ «Электричество, гравитация и космология» предположил, что квадрат заряда электрона пропорционален возрасту Вселенной. Немедленно вслед за опубликованием этой статьи появились конкретные возражения. Дайсон и Перес ²⁻³ отрицают заметное изменение e^2 на протяжении истории Земли, исходя из существующих геологических сведений, Бакал и Шмидт ⁴ приводят экспериментальные доказательства отсутствия изменения e^2 на основе измерения спектров пяти радиогалактик.

Проблема изменения атомных постоянных с возрастом Вселенной является, конечно, спорной и с общетеоретической точки зрения. В частности, Я. Б. Зельдович ⁶ обращает внимание на противоречие подобных гипотез с общей теорией относительности. Однако все эти гипотезы исходят из попытки найти связь космологических параметров с атомными константами, и эта проблема достаточно интересна. В данной статье мы коснемся в первую очередь обсуждения, возникшего в связи с предполагаемым изменением заряда электрона.

Обратимся к истории вопроса.

Более 30 лет назад П. Дирак показал, что безразмерные отношения атомных констант (составленных из элементарного заряда e , массы электрона m и скорости света c) к космологическим константам — постоянной Хаббла H и плотности вещества Вселенной ρ , а именно, $Q_1 = \frac{mc^3}{e^2 H}$ и $Q_2 = \frac{m^4 c^6}{e^6 \rho}$, мало отличаются друг от друга и от отношения электростатических и гравитационных сил, действующих между элементарными частицами протоном и электроном: $Q_3 = \frac{e^2}{GM_p m} \sim 10^{40}$, где M_p — масса протона, m — масса электрона, G — гравитационная постоянная Ньютона.

На основании этой эмпирической связи Дирак предположил ⁷, что все очень большие $\sim 10^{40}$ безразмерные универсальные константы должны рассматриваться как меняющиеся параметры, характеризующие современное состояние Вселенной.

Отсюда следует, что хотя бы некоторые константы должны изменяться с возрастом Вселенной.

I. ПРЕДЛОЖЕНИЕ ДИРАКА

При обсуждении мировых постоянных удобно использовать три независимые единицы физических величин скорости, действия и длины, имеющих фундаментальное значение во всех современных теориях. Это скорость света в вакууме $c = 3 \cdot 10^{10}$ см/сек, «квант» действия $\hbar = 1 \cdot 10^{-27}$ эрг·сек и длина, характеризующая радиус сильных взаимодействий, $\lambda = 3 \cdot 10^{-13}$ см, численно равная классическому радиусу электрона $\frac{e^2}{mc^2}$. Элементарная единица времени определяется как время, необходимое для того, чтобы свет прошел расстояние в одну элементарную единицу длины. Эту величину часто называют «темпоном».

Возраст Вселенной, выраженный в темпонах:

$$\frac{10^{10} \text{ лет}}{10^{-23} \text{ сек}} \sim 3 \cdot 10^{40} *).$$

Эта величина по порядку близка к безразмерному отношению электрической и гравитационной сил между протоном и электроном:

$$\frac{e^2}{GM_{pm}} = 2,3 \cdot 10^{39}.$$

Если за единицу времени принять любую другую величину, составленную из атомных констант и имеющую размерность времени $\left(\frac{e^2}{M_p c^3}, \frac{\hbar}{mc^2}, \frac{\hbar}{M_p c^2} \right)$, то возраст Вселенной, выраженный в этих величинах, по-прежнему по порядку величины сравним с отношением электрической и гравитационной сил.

Если такое совпадение не случайно, а представляет собой глубокую связь между космологией, гравитацией и электричеством, то следует предположить, что отношение $\frac{e^2}{GM_{pm}}$ увеличивается пропорционально возрасту Вселенной t .

Считая e^2 , M_p , m неизменяющимися величинами, Дирак предположил, что лишь гравитационная постоянная G меняется со временем, и построил космологическую теорию, в которой основным постулатом служит следующий принцип: любые два очень больших безразмерных числа, встречающихся в природе, связаны простым математическим соотношением, в котором коэффициенты — величины порядка единицы. Ввиду того, что в этой теории гравитационная постоянная меняется со временем (атомная шкала времени), то, чтобы сохранить общую теорию относительности, Дираку пришлось ввести новые единицы расстояния и времени, в которых гравитационная постоянная не зависит от возраста Вселенной (так называемая «динамическая шкала времени»).

II. ВОЗРАЖЕНИЕ ТЕЛЛЕРА

В 1948 г. Теллер опубликовал небольшую статью ⁸, в которой проанализировал возможность уменьшения G со временем с палеонтологических позиций. В самом деле, если G уменьшается с течением времени, то 300 ÷ 400 млн. лет назад G была больше настоящего ее значения. На основе термоядерной теории производства солнечной энергии светимость Солнца L пропорциональна G^7 и, следовательно, должна уменьшаться с возрастом Вселенной $\left(L \sim \frac{1}{t^7} \right)$, т. е. в прошлом Солнце све-

*) Дирак в 1948 г. принимал возраст Вселенной $\sim 2 \cdot 10^9$ лет.

тило ярче. С другой стороны, если G уменьшается со временем, в прошлом радиус земной орбиты R_3 должен быть меньше $\left(R_3 \sim \frac{1}{G}\right)$. Учитывая эти два обстоятельства, Теллер показал, что в Кембрийскую эру (~ 400 млн. лет назад) поверхность Земли должна была бы кипеть, делая невозможным существование трилобитов. А в докембрийские эпохи вообще не должно быть океанов. Действительно,

$$T_{\odot}^{\circ} \sim \left(\frac{L}{R^2}\right)^{1/4} \sim \left(\frac{t^{-7}}{t^2}\right)^{1/4} = t^{-2,25}; \quad t_{\text{кембр}} = t_{\text{совр}} - |\Delta t|;$$

$$T_{\odot}^{\circ} \text{ кембр} = T_{\odot}^{\circ} \text{ совр} + \Delta T_{\odot}^{\circ}; \quad \frac{\Delta T_{\odot}^{\circ}}{T_{\odot}^{\circ} \text{ совр}} = 2,25 \frac{\Delta t}{t_{\text{совр}}},$$

где $\frac{|\Delta t|}{t_{\text{совр}}} \approx \frac{4 \cdot 10^8 \text{ лет}}{2 \cdot 10^9 \text{ лет}} = 0,2$. Отсюда $T_{\odot}^{\circ} \text{ кембр} > 370^{\circ} \text{ К}$.

Таким образом, Теллер дает косвенное опровержение гипотезы изменения G со временем. Однако он принимал возраст Вселенной равным 2×10^9 лет вместо принятой сейчас оценки 10×10^9 лет и завязил долю изменения G , а следовательно, и светимости Солнца. Если оценки Теллера привести в соответствие с современными астрономическими данными, то «кипящие океаны» удалятся от нас по времени, делая Кембрийскую эру пригодной для морской жизни.

С другой стороны, палеонтологи⁹ обнаруживают бактерии и морские водоросли, возраст которых оценивается в 3 млрд. лет, и, тем самым, аргументация Теллера сохраняет свою силу. Если G уменьшается со временем, существование живых организмов несколько миллиардов лет назад невозможно.

III. ПРЕДЛОЖЕНИЕ ГАМОВА

Конечно, статья Теллера не единственный аргумент в пользу постоянства G со временем. Покода и Шварцшильд показали¹⁰, используя электронно-вычислительную технику, что если бы Солнце горело так ярко 2 млрд. лет назад, как этого требует изменение G со временем, то ядерные источники Солнца не смогли бы достаточно долго поддерживать столь высокие энергетические затраты и оно бы сейчас сожгло все свои центральные запасы водорода, превратившись в гигантскую красную звезду. Гамов¹¹, используя другой метод, пришел к тому же выводу.

Но как же спасти идею Дирака, если G не меняется со временем? Такая попытка была сделана. Гамов предположил, что можно сохранить соотношение $\frac{e^2}{G} \sim t$, если принять вместо $G \sim t^{-1}$ альтернативную гипотезу $e^2 \sim t$. В этом случае меньшая величина e^2 в прошлом естественно никак не повлияет на радиус земной орбиты. Проблема светимости Солнца несколько более трудна. Согласно¹², яркость Солнца увеличивается как $L \sim k_0^{-1}$, где k_0 — коэффициент непрозрачности солнечного материала. Этот коэффициент по известной формуле Крамерса пропорционален $e^6 = (e^2)^3$ и, таким образом, должен увеличиваться как куб времени, отсчитанного от начала расширения Вселенной. Отсюда $L \sim t^{-3}$, и светимость Солнца изменяется гораздо слабее, чем в предположении $G \sim t^{-1}$. Это снимает трудности, высказанные Теллером в его статье⁸.

В самом деле, температура поверхности Земли должна изменяться как $T_{\odot}^{\circ} \sim L^{1/4} \sim t^{-3/4}$ вместо $T_{\odot}^{\circ} \sim t^{-2,25}$ в случае изменения G . Тогда (при изменении e^2 , а не G) даже для $t = 1/3$ настоящего возраста Вселенной температура поверхности Земли должна быть только где-то около точки кипения воды. Гамов предположил¹, что возможное увеличение e^2

с возрастом Вселенной может быть доказано или опровергнуто двумя путями:

1. Наблюдением дублетов тонкой структуры в спектрах удаленных галактик. В самом деле, как доплер-эффект, так и эйнштейновское гравитационное смещение влияют на все линии спектра одинаковым образом, увеличивая все длины волн в одном и том же отношении. С другой стороны, постоянная Ридберга пропорциональна e^4 , в то время как спин-орбитальное расщепление, обуславливающее тонкую структуру спектральных линий, пропорционально e^8 , что и позволяет по наблюдению тонкой структуры спектров удаленных галактик обнаружить изменение e .

2. Изучением α - и β -распада естественных радиоактивных элементов в старых породах.

Действительно, изменение e^2 может привести к различному изменению со временем вероятности α -распада и вероятности β -распада (и, следовательно, периодов полураспада T_α и T_β). В частности, оно повлияет на отношения разветвлений трех известных радиоактивных семейств: ThC, RaC, AcC.

IV. ВОЗРАЖЕНИЯ ДАЙСОНА И ДРУГИХ

С появлением гипотезы Гамова $e^2 \sim t$ сразу же был выдвинут ряд возражений^{2, 3, 4, 6}.

Дайсон², используя данные о распространении на Земле ядер ^{187}Re и ^{187}Os , пришел к выводу, что элементарный заряд не может изменяться более чем на $1/1600$ за все время существования Земли.

В самом деле, на Земле существует определенное количество изотопа ^{187}Os и β -активного изотопа ^{187}Re , который распадается в ^{187}Os с периодом полураспада 4×10^{10} лет и энергией распада $\Delta = 2,6$ мэв. Согласно полуэмпирической формуле масс²⁰, энергия обоих атомов наряду с другими членами, не зависящими от e^2 , содержит кулоновский член $E_c = 0,6Z^2A^{1/3}$, который пропорционален e^2 . При этом член E_c так велик, что всеми возможными нелинейными электромагнитными эффектами (т. е., например, нелинейной зависимостью от e^2 разности масс нейтрона и протона) можно пренебречь и считать, что изменение Δ с e^2 целиком обязано изменению E_c .

Таким образом, разность кулоновских энергий $(E_c)_{\text{Re}} - (E_c)_{\text{Os}} = e^2 \left(\frac{d\Delta}{de^2} \right) = -15,8$ Мэв с теоретической погрешностью не более $\pm 10\%$. В энергию распада Δ войдет, с одной стороны, указанная разность кулоновских энергий, а с другой стороны, разность энергетических членов, учитывающих в формуле Вейцекера эффект симметрии, и разность масс нейтрона и протона. Существенно, что Δ есть разность масс между двумя большими величинами и эта разность может быть малой только для узкого интервала значений e^2 . ^{187}Re на Земле не сохранился бы, если его период полураспада был бы равен 2×10^8 лет (в раннюю эпоху существования Земли, скажем, 3×10^9 лет тому назад). Период полураспада для β -перехода между данными ядерными состояниями уменьшается с увеличением Δ , по крайней мере, как $\Delta^{-2,835}$ ¹³. Следовательно, величина Δ 3×10^9 лет тому назад не может быть больше своего настоящего значения более чем на $(200)^{0,353} = 6,5$ раза, где $200 = \frac{4 \cdot 10^{10} \text{ лет}}{2 \cdot 10^8 \text{ лет}}$ и $0,353 = \frac{1}{2,835}$. Это приводит к $\left(\frac{d\Delta}{dt} \right) \frac{1}{\Delta} \leq 4,75 \times 10^{-9}$ кэв/год и, следовательно, $\left(\frac{1}{e^2} \right) \left(\frac{de^2}{dt} \right) \leq 3 \times 10^{-13}$ год⁻¹. Рост $[e^2]$, согласно этой оценке, почти в 300 раз медленнее, чем по предположению Гамова.

Дайсон указывает в заключение, что можно аналогичным образом рассмотреть изотопы ^{50}V ; ^{87}Rb ; ^{123}Te ; ^{138}La ; ^{176}Lu . Однако в этих случаях получаются более слабые неравенства для $\left(\frac{1}{e^2}\right) \left(\frac{de^2}{dt}\right)$. Перес в своей статье ³ проанализировал возможность изменения e^2 на основе геологических данных. Он обратил внимание на тот факт, что если гипотеза Гамова верна, то докембрийские нуклиды резко отличались бы от современных. Стабильные тяжелые элементы имели бы отношение N/Z ближе к 1 (так как отклонение N/Z от единицы обязано электростатическому отталкиванию между протонами). Например, если бы e^2 было меньше только на несколько процентов, ^{238}U был бы нестабилен относительно двойного β -распада в ^{238}Pu и дальнейшее уменьшение e^2 сделало бы ^{238}Sm самым устойчивым нуклидом с $A = 238$.

Можно, конечно, предположить, что наш современный ^{238}U раньше существовал как ^{238}Sm , получаясь из него посредством четырех β^+ -распадов (или k -захватов). Однако проблема ^{208}Pb более сложна. Миллиард лет назад он существовал бы как ^{208}Rn , который является газом. Наши современные свинцовые руды были бы тогда однородно распределены во всем мире, чего нет на самом деле. Одним словом, различные изотопы одного и того же элемента имели бы различную химическую историю. Тогда были бы широкие флуктуации в изотопическом составе элементов, происходящих от различных источников в мире. Хорошо известно, что такие вариации чрезвычайно малы. Отсюда можно заключить, что электрический заряд изменился очень мало или вообще не изменился со времени образования земной коры.

V. ЭКСПЕРИМЕНТ БАКАЛА И ШМИДТА

Дайсон и Перес проанализировали возможность изменения e^2 на протяжении истории Земли. Однако еще раньше, в 1958 г., Уилкинсон ¹⁴, изучая разветвления AsC , пришел к выводу, что заряд электрона изменяется не более чем на 10^{-12} в год. Все это косвенные доказательства неосновательности гипотезы $e^2 \sim t$.

Бакал и Шмидт ⁴ сделали непосредственную проверку гипотезы Гамова. Они измерили дублеты тонкой структуры в O_{III} — эмиссионных линиях в пяти радиогалактиках с $z \approx 0,2$ ($z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda}$ — красное смещение)

и нашли, что $\alpha(z \approx 0,2)/\alpha_{\text{лаб}} = 1,001 \pm 0,002$, где $\alpha = \frac{e^2}{\hbar c}$ — постоянная тонкой структуры. При этом были использованы неопубликованные измерения длин волн O_{III} — мультиплетных линий 5007 и 4959 Å в эмиссионных спектрах пяти радиогалактик ¹⁵.

Время прохождения света от этих галактик составляет 2 млрд. лет, т. е. 20% от хаббловского расширения. В таблице содержится перечень

Т а б л и ц а

Объект	z	$\lambda_{\text{набл}}$	$\lambda_{\text{набл}}$	$\alpha(z)/\alpha_{\text{лаб}}$
Лабораторный	0,0	4958,9	5006,8	1
3C219	0,17	5823,1	5880,4	1,009
3C234	0,18	5875,2	5932,3	1,003
3C26	0,21	6003,2	6060,1	0,990
3C171	0,24	6140,6	6200,5	1,005
3C79	0,26	6230,0	6289,7	0,996

наблюдений длин волн O_{III} — линий пяти радиогалактик с заметными красными смещениями. Отношение $\left[\frac{\alpha(z)}{\alpha_{\text{лаб}}}\right]^2 = \left(\frac{\delta\lambda}{\lambda}\right)_{\text{набл}} \times \left(\frac{\delta\lambda}{\lambda}\right)_{\text{лаб}}^{-1}$. Здесь $\delta\lambda$ — расщепление тонкой структуры и λ — средняя длина волны дублета. Гипотеза, что α пропорционально космическому времени t , требует $\alpha(z \approx 0,2)/\alpha_{\text{лаб}} \approx 0,8$ и, следовательно, исключается результатами наблюдений Бакала и Шмидта.

VI. СУЩЕСТВУЕТ ЛИ СВЯЗЬ КОСМОЛОГИИ, ГРАВИТАЦИИ И ЭЛЕКТРИЧЕСТВА?

Приведенные выше выводы исключают изменение электрического заряда e не только пропорционально времени t , но также и пропорционально $\ln t$, возможность которого была выдвинута Теллером в 1948 г. Таким образом, оригинальная гипотеза Дирака должна быть отвергнута, и теперь совершенно ясно, что удивительное число 10^{40} , поразившее Дирака, не имеет ничего общего с настоящим возрастом Вселенной.

Однако мы не можем легко отмахнуться от совпадений, на которые указал Дирак, если признаем существование связи (пока неизвестной) атомных констант с космологическими. По отношению к модели Вселенной как целого указанные совпадения имеют существенное значение и должны быть обеспечены в рамках космологической модели. Поскольку недавнее открытие реликтового излучения с температурой $\sim 3^\circ\text{K}$,¹⁷ по-видимому, подтверждает горячую модель в теории расширяющейся Вселенной, Гамов делает такую попытку, не прибегая к предположению об изменении заряда электрона¹⁶.

Если мы рассмотрим пространство, заполненное смесью чернотельного излучения и вещества в форме барионов в термодинамическом равновесии, исключив возможную роль нейтрино и других элементарных частиц на ранних этапах расширения, то среднюю полную плотность можно записать в виде $\rho = \rho_{\text{изл}} + \rho_{\text{вещ}}$, где $\rho_{\text{изл}}$ — массовая плотность излучения, $\rho_{\text{вещ}}$ — плотность вещества, $\rho_{\text{изл}} = aT^4/c^2$, где a — постоянная плотности излучения закона Вина, T — температура излучения в $^\circ\text{K}$, c — скорость света. Как известно, с расширением Вселенной температура излучения изменяется обратно пропорционально радиусу кривизны Вселенной: $T \sim R^{-1}$, следовательно, $\rho_{\text{изл}} \sim R^{-4}$, в то время как $\rho_{\text{вещ}} \sim R^{-3}$. Отсюда сохраняющейся величиной является произведение $[\rho_{\text{изл}}^{3/4} \times \rho_{\text{вещ}}^{-1}]$.

Можно показать¹⁸ (Альфер, Гамов, Герман), что отношение теплоемкостей излучения и вещества $\frac{c_{\text{изл}}}{c_{\text{вещ}}} = 4,945 \cdot 10^4 \rho_{\text{изл}}^{3/4} \times \rho_{\text{вещ}}^{-1} = \text{const} (*)$.

Следовательно, $\frac{c_{\text{изл}}}{c_{\text{вещ}}}$ — характерная космологическая константа. Эта величина не изменяется в течение всей эволюции Вселенной. Численно она равна $\frac{c_{\text{изл}}}{c_{\text{вещ}}} = 4,945 \cdot 10^4 \rho_{\text{изл}}'^{3/4} \times \rho_{\text{вещ}}'^{-1} \approx 10^{10}$, где $\rho_{\text{изл}}'$ и $\rho_{\text{вещ}}'$ — соответственно современная плотность излучения и вещества.

Эту безразмерную характеристику космологической модели Вселенной можно также рассматривать как безразмерную энтропию на барион

$$\frac{S}{n_b k} = 3,7 \frac{n_\gamma}{n_b} = \frac{1}{2} \frac{c_{\text{изл}}}{c_{\text{вещ}}},$$

где $\frac{n_\gamma}{n_b}$ — число фотонов на барион, $S/n_b k \approx 5 \cdot 10^9$ совпадает по порядку величины с $\sqrt[4]{\frac{\hbar c}{GM_p^2}}$, где k — постоянная Больцмана, $\frac{GM_p^2}{\hbar c}$ — гравита-

ционный аналог «постоянной тонкой структуры» $\frac{e^2}{\hbar c} \sim \frac{1}{137}$. Следует отметить, что на это обстоятельство еще в 1966 г. обратили внимание Я. Б. Зельдович и И. Д. Новиков²¹. Они указали возможный подход к вычислению безразмерной энтропии как физической константы, характеризующей мир: $S^2 \sim \frac{\hbar}{M_{Pl}^2} : \sqrt{\frac{G\hbar}{c^3}} \sim 10^{19}$.

Рассмотрим подробнее роль космологической постоянной $\frac{c_{изл}}{c_{вещ}}$ в эволюции Вселенной. Можно показать, что эта величина связана с характерным временем t^* , при котором массовая плотность излучения становится равной плотности вещества ($\rho_{изл} = \rho_{вещ}$).

В самом деле, на достаточно ранних стадиях расширения Вселенной (малые времена t), когда плотность излучения много больше плотности вещества: $\rho_{изл} \gg \rho_{вещ}$, решение Фридмана для нестационарной Вселенной можно записать в виде

$$\frac{1}{R} \frac{dR}{dt} = \sqrt{\frac{8\pi G}{3}} \rho,$$

где G — постоянная тяготения Ньютона, ρ — средняя плотность, R — радиус кривизны пространства-времени. Это уравнение может быть проинтегрировано, если учесть $R \sim \frac{1}{T}$ и $\rho_{изл} = \frac{aT^4}{c^2}$:

$$-\frac{1}{T^3} \frac{dT}{dt} = \sqrt{\frac{8\pi G a}{3c^2}}, \quad T = \left(\frac{3c^2}{32\pi G a} \right)^{1/4} \frac{1}{\sqrt{t}} = \frac{1,52 \cdot 10^{10}}{\sqrt{t}} \text{ } ^\circ\text{K}.$$

(Постоянная интегрирования выбрана так, что при $T \rightarrow \infty$ $t \rightarrow 0$). Отсюда следует, что плотности излучения и вещества

$$\begin{cases} \rho_{изл} = 4,42 \cdot 10^5 t^{-2} \text{ г/см}^3, \\ \rho_{вещ} = \rho_0 t^{-3/2} \text{ г/см}^3, \end{cases} \quad (**)$$

где ρ_0 — постоянная величина, которую можно определить дополнительной информацией из наблюдений современного состояния Вселенной, а именно, из данных о реликтовом излучении и плотности вещества в современную эпоху $\rho'_{вещ}$. Из соотношения $\rho_{изл}^{3/4} \times \rho_{вещ}^{-1} = \rho'_{изл}{}^{3/4} \times \rho'_{вещ}{}^{-1}$, взяв, например, $t = 1$ сек, получим

$$\rho_0 = 1,72 \cdot 10^4 \frac{\rho'_{вещ}}{\rho'_{изл}}.$$

Если принять температуру реликтового излучения $\sim 3^\circ\text{K}$ и $\rho'_{вещ} = 7 \cdot 10^{-31} \text{ г/см}^3$, то $\rho_0 = 0,090$, и соотношения (**) позволяют вычислить характерное время t^* :

$$t^* = (4,42 \cdot 10^5)^2 \cdot \rho_0^{-2} \simeq 3 \cdot 10^{13} \text{ сек}.$$

В то же время из уравнения (*) $\frac{c_{изл}}{c_{вещ}} = 8,5 \cdot 10^8 \rho_0^{-1}$ и, следовательно,

$$\frac{c_{изл}}{c_{вещ}} = 1,91 \cdot 10^3 t^{*1/2}, \text{ где } t^* \text{ в сек}.$$

Отсюда ясно, что величина t^* также является характерной космологической константой, определяя физические условия (плотность вещества) Вселенной в любое время. Это время $t^* \approx 10^6$ лет совпадает с моментом рекомбинации водорода при температуре $T = 3000$ до 4000°K . Возвращаясь к отношению кулоновской и ньютоновской сил и вычисляя его для двух протонов, а не для протона и электрона, получим $\frac{e^2}{GM_p^2} \simeq 1 \times 10^{36}$, что близко к t^* , выраженному в темпонах:

$$t^* \simeq 10^6 \text{ лет} \simeq 3 \cdot 10^{13} \text{ сек} = 3 \cdot 10^{36} \text{ темпонах}.$$

Соотношение $\frac{e^2}{GM_p^2} = t^*$, если оно имеет глубокий физический смысл, представляет собой связь между атомными константами e и M_p и космологическими константами $\frac{c_{изл}}{c_{вещ}}$ и G . Эта новая связь не включает какого-либо временного изменения фундаментальных констант. В самом деле, t^* фактически константа, так же как $\frac{e^2}{GM_p^2}$, поэтому новое соотношение предпочтительнее, чем связь, указанная в работе Дирака *). Хотя это соотношение $\frac{e^2}{GM_p^2} = t^*$ представляется нам несколько искусственной попыткой сохранить замечательное совпадение, отмеченное Дираком, сама концепция безразмерной энтропии на барион (или $\frac{c_{изл}}{c_{вещ}}$), как характерной космологической константы, связанной с атомными константами, довольно убедительна.

Таким образом, в настоящее время ни одна гипотеза, претендующая на выяснение связи атомных констант с космологическими (не говоря уже об эксперименте), не подвергает сомнению *постоянство* элементарного электрического заряда.

Авторы признательны Я. Б. Зельдовичу и Д. А. Варшавовичу за весьма полезные советы.

Физико-технический институт
им. А. Ф. Иоффе

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. G. Gamow, Phys. Rev. Lett. **19**, 759 (1967).
2. F. J. Dyson, Phys. Rev. Lett. **19**, 1291 (1967).
3. A. Peres, Phys. Rev. Lett. **19**, 1293 (1967).
4. J. N. Bahcall, M. Schmidt, Phys. Rev. Lett. **19**, 129 (1967).
5. G. Gamow, Phys. Rev. Lett. **19**, 913 (1967).
6. Я. Б. Зельдович, УФН **78**, 549 (1962).
7. P. A. M. Dirac, Nature **139**, 323 (1937); Proc. Roy. Soc. London **A165**, 198 (1938).
8. E. Teller, Phys. Rev. **73**, 801 (1948).
9. J. W. Schopf, E. S. Banghoorn, Science **156**, 508 (1967).
10. P. Rochoda, M. Schwarzschild, Astrophys. J. **139**, 587 (1964).
11. G. Gamow, Proc. Natl. Acad. Sci. U.S. **57**, 187 (1967).
12. G. Gamow, ссылка ¹¹, ф-ла (8).
13. E. J. Konopinski, Rev. Mod. Phys. **15**, 209 (1943).
14. D. H. Wilkinson, Phil. Mag. **3**, 382 (1958).
15. J. N. Bahcall, E. E. Salpeter, Astrophys. J. **142**, 1677 (1965).
16. G. Gamow, R. Alpher, Proc. Natl. Acad. Sci. U.S. **363**, 59 (1968).
17. P. Roll, D. T. Wilkinson, Phys. Rev. Lett. **16**, 405 (1966).
18. R. Alpher, G. Gamow, R. Herman, Proc. Natl. Acad. Sci. U.S. **58**, 2179 (1967).
19. Я. Б. Зельдович, УФН **95**, 209 (1968).
20. Э. Ферми, Ядерная физика М., ИЛ, 1951.
21. Я. Б. Зельдович, И. Д. Новиков, Письма ЖЭТФ **4**, вып. 3 (1966).

*) Я. Б. Зельдович ¹⁹, исходя из иных предпосылок, а именно, анализируя совпадение больших чисел в рамках теории с космологической постоянной, т. е. в Λ -модели Вселенной, предполагает соотношение $\Lambda^{-1/2} \frac{\hbar}{M_p c} = \frac{\hbar}{GM_p^2}$. Это соотношение носит характер «вечного» соотношения между мировыми постоянными Λ , G , M_p , $\hbar$, c и согласуется с постоянством всех констант, а также с общей теорией относительности.