

О возможной связи массы Вселенной с характерными размерами элементарных частиц

Н. А. Мискинова*

Московский технический университет связи и информатики, кафедра физики.
Россия, 111024, Москва, Авиамоторная ул., д. 8а.

Б. Н. Швилкин†

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
физический факультет, кафедра физики полимеров и кристаллов.
Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2.
(Статья поступила 28.05.2012; Подписана в печать 20.06.2012)

Показано, что масса вещества, равная принятой в настоящее время массе наблюдаемой части нашей Вселенной, достигается при планковской плотности в объеме, размер которого сравним с размером нуклона и близок к комптоновской длине волны пиона.

PACS: 98.80.Br, 98.80.Es, 14.20.Dh, 14.40.Be.

УДК: 524.83, 524.85, 539.12.

Ключевые слова: планковская длина, планковская масса, расширяющаяся Вселенная, комптоновская длина волны пиона, зарядовый радиус протона.

ВВЕДЕНИЕ

Анализ размерности в физике часто приводит к обнаружению принципиально важных закономерностей. Макс Планку, например, при анализе размерности удалось ввести величины, имеющие размерность длины и времени, так называемые планковские длину и время [1], чрезвычайная малость которых привела к понятию дискретности пространства и времени. Планковская длина $\ell_P \sim 10^{-33}$ см определяет «квант» пространственного расстояния, а время $\tau_P \sim 10^{-44}$ с определяет «квант» времени. В результате из анализа размерности был сделан вывод о необходимости создания квантовой теории поля в дискретном пространстве-времени [2] (см. также [3] и цитируемую там литературу).

1. ПЛАНКОВСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ И РАСШИРЯЮЩАЯСЯ ВСЕЛЕННАЯ

Проведем анализ размерных планковских величин в применении к расширяющейся Вселенной. В начале расширения Вселенной материя находилась в так называемом вакуумном состоянии [4]. Плотность вещества была чрезвычайно велика и поддерживалась постоянной. Эту плотность, называемую планковской, можно выразить через планковские размерные величины: планковская масса

$$m_P = \sqrt{\frac{\hbar c}{G}} \simeq 2.18 \times 10^{-5} \text{ г} \quad (1)$$

и планковская длина

$$\ell_P = \frac{\hbar}{m_P c} = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^3}} \simeq 1.62 \times 10^{-33} \text{ см}, \quad (2)$$

\hbar — постоянная Планка, G — гравитационная постоянная, c — скорость света в вакууме (здесь и ниже значения физических и астрофизических постоянных взяты из [5]).

Материя в вакуумном состоянии характеризовалась гравитационным отталкиванием (отрицательным давлением), и это было причиной мощного первотолчка, послужившего началом практически мгновенного расширения вещества, так называемой инфляции [4].

В какой-то момент времени размер Вселенной был ничтожно маленьким, он определялся размером планковской ячейки объемом $\ell_P^3 \simeq 4.22 \times 10^{-99}$ см³. Плотность же вещества внутри этой ячейки была гигантской (см. (1) и (2)):

$$\rho_P = \frac{m_P}{\ell_P^3} = \frac{c^5}{\hbar G^2} \simeq 5.15 \times 10^{93} \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}. \quad (3)$$

И это несмотря на малую массу вещества внутри планковского объема, всего порядка 10^{-5} г, и относительно малое число нуклонов $m_P/m_p \simeq 1.30 \times 10^{19}$, сравнимое с числом Лошмидта $N_L \simeq 2.69 \times 10^{19}$ (число молекул в 1 см³ идеального газа при нормальных условиях).

Считается, что планковская плотность, разделяющая квантовое и классическое пространство-время, определяет состояние вещества, которое условно принимают за «начало» или «рождение» нашей Вселенной [4].

При расширении вещества занимаемый им объем становился все больше. При этом возрастала и масса материи из-за отрицательной энергии гравитации при практически постоянной плотности. Так продолжалось до тех пор, пока вакуумная материя через ничтожный миг не превратилась квантовым образом в

*E-mail: namisk@yandex.ru

†E-mail: bshvilkin@yandex.ru

обычную материю Вселенной. За это кратчайшее время Вселенная раздулась в неимоверное число раз (см., например, [4]).

Оценим, какая масса вещества с планковской плотностью может быть сосредоточена в объеме шара, радиус которого равен комптоновской длине волны π -мезона $\lambda_\pi = \hbar/(m_\pi c)$. Как известно, эта величина определяет радиус действия ядерных сил и близка к размеру нуклона (среднеквадратичный зарядовый радиус протона $r_p \simeq 0.88 \times 10^{-13}$ см [5]) и радиусу конфайнмента (удержания кварков и глюонов внутри адронов) [6]. В случае π^0 -мезона имеем длину и соответствующий объем

$$\lambda_{\pi^0} \simeq 1.46 \times 10^{-13} \text{ см},$$

$$V_0 = \frac{4\pi}{3} \lambda_{\pi^0}^3 \simeq 1.31 \times 10^{-38} \text{ см}^3. \quad (4)$$

В случае π^+ -мезона

$$\lambda_{\pi^+} \simeq 1.41 \times 10^{-13} \text{ см},$$

$$V_+ = \frac{4\pi}{3} \lambda_{\pi^+}^3 \simeq 1.18 \times 10^{-38} \text{ см}^3. \quad (5)$$

Масса вещества внутри объема V_0 при планковской плотности вещества (3) равна

$$M_0 = \rho_P V_0 = \frac{4\pi}{3} m_P \left(\frac{\lambda_{\pi^0}}{\ell_P} \right)^3 \simeq 6.75 \times 10^{55} \text{ г}. \quad (6)$$

Аналогично,

$$M_+ = \rho_P V_+ = \frac{4\pi}{3} m_P \left(\frac{\lambda_{\pi^+}}{\ell_P} \right)^3 \simeq 6.10 \times 10^{55} \text{ г}. \quad (7)$$

Массы (6) и (7) эквивалентны суммарной массе примерно 4×10^{79} нуклонов.

Полученные значения масс M_0 и M_+ оказываются одного порядка величины с массой наблюдаемой части нашей Вселенной M_U . Согласно современным представлениям

$$M_U = \frac{4\pi}{3} \rho_c (ct_0)^3 \simeq 8.84 \times 10^{55} \text{ г}, \quad (8)$$

где $t_0 = 13.69(13) \times 10^9$ лет — возраст Вселенной, $\rho_c = 1.87835(19) \times 10^{-29} h^2 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$ — критическая плотность Вселенной, $h = 0.72(3)$ — нормированная постоянная Хаббла (в современную эпоху).

Сравнение масс (6)–(8) показывает, что различие между ними невелико:

$$\frac{M_U - M_0}{M_U} \simeq 0.24,$$

$$\frac{M_U - M_+}{M_U} \simeq 0.31,$$

$$\frac{M_0 - M_+}{M_+} \simeq 0.10.$$

Определим также эффективный размер r_c соотношением $M_U = (4\pi/3)\rho_P r_c^3$, откуда

$$r_c = \left(\frac{3}{4\pi} \frac{M_U}{\rho_P} \right)^{1/3} \simeq 1.60 \times 10^{-13} \text{ см}.$$

Этот размер мало отличается от комптоновской длины волны пиона (см. (4) и (5)):

$$\frac{r_c - \lambda_{\pi^0}}{\lambda_{\pi^0}} \simeq 0.09, \quad \frac{r_c - \lambda_{\pi^+}}{\lambda_{\pi^+}} \simeq 0.13.$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенные данные позволяют предположить, что характерный адронный масштаб и масса в соответствующем объеме при планковской плотности являются характерными размером и критической массой при Большом взрыве, аналогичными планковским размеру и массе при зарождении Вселенной.

Таким образом, в работе показано, что масса «планковского нуклона» (шара радиусом порядка размера нуклона, заполненного веществом с планковской плотностью) близка к массе наблюдаемой части нашей Вселенной.

Авторы выражают благодарность проф. А. В. Борису за интерес к работе и обсуждение результатов.

[1] Планк М. Избранные труды. (М., 1975).

[2] Ambarzumian V., Iwanenko D. Z. Phys. **64**. P. 563. (1930).

[3] Вяльцев А.Н. Дискретное пространство-время. (М., 2007).

[4] Новиков И.Д. Вестн. РАН. **71**, № 10. С. 886. (2001).

[5] Nakamura K. et al. (Particle Data Group). J. Phys. G. **37**. P. 075021. (2010).

[6] Окунь Л.Б. Физика элементарных частиц. (М., 1988).

On a possible relation between the mass of the Universe and characteristic sizes of elementary particles

N. A. Miskinova^{1a}, B. N. Shvilkin^{2b}

¹*Department of Physics, Moscow Technical University of Communications and Informatics,
Moscow 111024, Russia Aviamotornaya St., 8a*

²*Department of Polymer and Crystal Physics, Faculty of Physics,
M. V. Lomonosov Moscow State University, Moscow 119991, Russia
E-mail: ^anamisk@yandex.ru, ^bbshvilkin@yandex.ru*

It is shown that the mass of the matter equal to the value accepted at present of the mass of the visible part of our Universe is reached at the Planck density in the volume which size is comparable with the nucleon size and is close to the pion Compton wavelength.

PACS: 98.80.Bp, 98.80.Es, 14.20.Dh, 14.40.Be

Keywords: Planck length, Planck mass, expanding Universe, pion Compton wavelength, proton charge radius

Received 28 May 2012

Сведения об авторах

1. Мискинова Наталия Аркадьевна — канд. физ.-мат. наук, доцент, профессор; тел.: (499) 192-85-03, e-mail: namisk@yandex.ru.
 2. Швилкин Борис Николаевич — докт. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник; тел.: (495) 939-29-08, e-mail: bshvilkin@yandex.ru.
-