

УДК 530.122; 536.93

ЧТО МЫ ЗНАЕМ О КОСМОЛОГИЧЕСКОЙ ПОСТОЯННОЙ?

Я.И.Грановский

WHAT WE KNOW ABOUT THE COSMOLOGICAL CONSTANT?

Ia.I.Granovskii

Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина НАН Украины, yagran1931@gmail.com

Рассмотрены свойства космологической постоянной, связанные с массой гравитона, гравиконденсатом, вращением Вселенной и возможной моделью темной материи.

Ключевые слова: космологическая постоянная, темная материя, гравитон, бозе-эйнштейновская конденсация

The properties of the cosmological constant with connection to graviton masse, gravitons condensation, the Universe rotation and possible model of dark matter are considered.

Keywords: cosmological constant, dark matter, graviton, Bose-Einstein condensation

Гравитационное уравнение Эйнштейна

$$R_{\mu\nu} - Rg_{\mu\nu}/2 - \Lambda g_{\mu\nu} = 8\pi GT_{\mu\nu} \quad (1)$$

содержит две мировые постоянные G и Λ . Из принципа наименьшего действия

$$\delta \int \left[\frac{R+2\Lambda}{8\pi G} + S_m \right] \sqrt{-g} d^4x = 0 \quad (2)$$

следует, что размерность Λ совпадает с размерностью кривизны $[\Lambda]=[R]$, т.е. равна см^{-2} , а размерность $[G]=\text{см}^2$ обеспечивает безразмерность действия. В системе единиц $\hbar=c=1$ имеем $G=M_{Pl}^{-2}$ и $\Lambda=\mu^2$. Согласно [1]: $M_{Pl}=6,1 \cdot 10^{32} \text{см}^{-1}$ и $\mu=1,09 \cdot 10^{-28} \text{см}^{-1}$ [2].

Физический смысл постоянной Ньютона G известен: она задает влияние материи на кривизну 4-мира (и наоборот). Относительно космологической постоянной (КП) Λ мы примем точку зрения де Ситтера: Λ — это кривизна пустого мира, в этом случае $\Lambda=-R_0/2$. Наиболее распространенным, хотя и весьма противоречивым, является отождествление ее с плотностью вакуума $\Lambda=8\pi G\rho_V$.

Рассмотрим явления, связанные с КП.

1. Экранирование гравитации

Первым непосредственным следствием КП является обобщение уравнения Пуассона $\Delta\Phi_N=4\pi G\rho$:

слабое гравитационное поле, $\Phi/c^2 \ll 1$, подчиняется уравнению $\Delta\Phi - \Lambda\Phi = 4\pi G\rho$.

Для точечной массы M его решение имеет вид

$$\Phi(r) = M\phi_{Yu}(r), \quad (3)$$

где $\phi_{Yu}(\vec{r}) = -G \frac{\exp(-\sqrt{\Lambda}r)}{r}$ — потенциал Юкавы, экспоненциально убывающий на расстояниях, превышающих $1/\sqrt{\Lambda} = 3 \text{ Гпс}$.

Потенциал протяженного тела с радиусом a равен $\Phi(R) = \int_{r<a} \rho(r)\phi_{Yu}(r) d\vec{r}$. Вне тела $\Phi(R) = M\phi_{Yu}(R)f(\mu a)$ он отличается от формулы (3) наличием форм-фактора $f(u) = 3(u \cosh u - \sinh u)u^{-2}$. Поправки, обусловленные μR и μa , очень малы и даже на горизонте не превышают 25% [$\exp(-L/\Lambda) \approx 0,24$].

Заметим, что однородная плотность ρ_0 , заполняющая всё пространство, создает постоянный потенциал $-G\rho_0 \int_0^\infty e^{-\mu r} dV/r = -\rho_0/2\rho_V$ и остается ненаблюдаемой.

2. Масса гравитона

Опираясь на формальное сходство потенциала Ньютона и потенциала Кулона, обычно считают, что масса гравитона (кванта гравитационного поля), как и

масса фотона (кванта электромагнитного поля), равна нулю.

Однако если в отношении фотона имеются прямые экспериментальные свидетельства о его безмассовости, то у гравитона таковых нет, поскольку сам гравитон не обнаружен.

Космологический член в уравнении Эйнштейна приводит к потенциалу Юкавы, что соответствует массе гравитона, равной $\mu = \sqrt{\Lambda} = 2,2 \cdot 10^{-33} \text{ eV}/c^2$. Благодаря исключительной малости μ радиус действия гравитации огромен (см. выше), так что в масштабах звезд, галактик и даже их скоплений поправку можно не учитывать.

Версия «гравитон имеет массу» не противоречит известным фактам и имеет право на существование.

3. Вращение Вселенной

Обратимся теперь к *точному* решению задачи Шварцшильда о метрике точечного тела: $ds^2 = f(r)dt^2 - g(r)d\vec{r}^2$. Его нетрудно получить, пользуясь стандартными методами [3]: $f(r) = 1/g(r) = 1 - 2GM/r - \Lambda r^2/3$.

Отсюда находим потенциал $\Phi(r) = -GM/r - \Lambda r^2/6$ и радиальное ускорение $w_r = -GM/r^2 + \Lambda r/3$. Первое слагаемое — это центростремительное, а второе — центробежное ускорение $\omega^2 r$. Угловая скорость равна $\omega = \sqrt{\Lambda/3} = 2 \cdot 10^{-18} \text{ сек}^{-1}$. Таким образом, за все время существования Вселенная повернулась на угол $\delta = \omega T_0 \approx \pi/4$.

Круговая орбита, на которой $w_r = 0$, имеет радиус $r_0 = (3GM/\Lambda)^{1/3}$. Даже для скоплений галактик, у которых гравитационный радиус $2GM$ достигает величины ≈ 1 пс, ее радиус равен только $\approx 2,5$ Мпс. За пределами круговой орбиты, при $r > r_0$, разлет галактик идет с ускорением. Таким образом, это явление объясняется вращением Вселенной без какого-либо обращения к «темной энергии» или «всемирному антигравитанию».

4. Параметр Хаббла

Отношение Λ к плотности материи $\Lambda/8\pi G\rho_m$ может быть выражено в безразмерных величинах как Ω_Λ/Ω_m , где $\Omega_\Lambda = \Lambda/3H^2$. Численно оно равно [2] $0,71/h^2$, $0,13=11$, т.е. ρ_V на порядок превосходит ρ_m .

Попутно мы получили формулу $H = \sqrt{\Lambda/3\Omega_\Lambda} = \omega/\sqrt{\Omega_\Lambda}$. При грубой оценке $H = \sqrt{\Lambda/3} = \omega$. Смысл этого совпадения неясен, но численно ω составляет 86% этого важного параметра. Остальные 14% — это вклад $\sqrt{\Omega_\Lambda}$.

5. Гравиконденсат

Благодаря своей ненулевой массе гравитон, как все бозе-частицы, способен к бозе-эйнштейновской

конденсации. Температура конденсации равна

$$T_{BE} = \sqrt{12\rho_\Lambda/5\mu^2} = M_{Pl}\sqrt{3/10\pi}.$$

Такую температуру Вселенная имела в момент $t = 10^{-43}$ сек, после чего температура начала падать и к настоящему времени все свободные гравитоны «выпали» в конденсат, остались только виртуальные, связанные с материальными телами.

Очевидно, что конденсат равномерно заполняет всю Вселенную, однако это не влияет на движение тел, поскольку его гравитационный потенциал постоянен: $\Phi_c = -4\pi G\rho_\Lambda/\Lambda = -1/2$ (напомним, что это свойство относится ко всем однородным плотностям).

По-видимому, вращение Вселенной связано именно с гравиконденсатом, точнее, с его вращательным моментом. Для этого достаточно спину гравитона в процессе конденсации ориентировать в определенном направлении. Необходимое направление может быть задано магнитным полем или другими причинами. Заметим, что идея существования некоей «оси зла» уже давно циркулирует в среде астрофизиков [4].

6. Заключение

Изложенные выше факты указывают на существенную роль КП Λ , в первую очередь массы гравитона μ , в развитии Вселенной.

Сюда следует отнести само существование μ , которое приводит к наличию грави-конденсата, его вращению и связанному с этим вращению Вселенной как целого. Кроме того, μ «экранирует» ньютонов потенциал и обеспечивает ненаблюдаемость самого конденсата, равно как и всех других «конденсатов» (Хиггса, кваркового и глюонного). Не забудем, что масса гравитона тесно связана с параметром Хаббла: $H \approx \mu/\sqrt{3}$.

Возникает естественный вопрос о происхождении этой важной величины. В настоящее время мы не можем на него ответить, точно так же, как не можем ответить на аналогичные вопросы о массах других элементарных частиц. Возможно, μ связана с кривизной «пустого мира»...

Напомним в этой связи, что произведение $G\Lambda$ есть безразмерная величина, причем $G\Lambda \approx \exp(-2/\alpha)$. Здесь $\alpha = 1/137$ — известная электродинамическая постоянная. Какое она имеет отношение к гравитации??

1. Beringer J. et al (PDG) Review of Particle Physics. // Phys. Rev. D. 2012. V.86. №1. 1526 p.
2. Bennett C.L., Larson D., Weiland J. L. et al. Nine-Year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) Observations: Final Maps and Results // 2013, arXiv:1212.5225v3 [astro-ph.CO]. 177 p.
3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория поля. 8 изд. М.: ФизМатЛит, 2001. 534 с.
4. Land K., Magueijo J. The axis of evil. <http://arxiv.org/abs/astro-ph/0502237v2>, 5p.; Land K., Magueijo J. Examination of Evidence for a Preferred Axis in the Cosmic Radiation Anisotropy // Phys. Rev. Lett. 2005. V.95. №7. P.071301.

References

1. J. Beringer et al (PDG) Review of Particle Physics. Phys. Rev. D., 2012, vol. 86, no. 1, 1526 p.
2. C. L. Bennett, D. Larson, J. L. Weiland e.a. Nine-Year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) Observations: Final Maps and Results, 2013, [astro-ph.CO] 177 p. Available at: arXiv:1212.5225v3
3. Landau L.D., Lifshits E.M. Teoriia polia [Field theory]. 8th ed, "FizMatLit" Publ., 2001.
4. K. Land, J. Magueijo. The axis of evil. Available at: <http://arxiv.org/abs/astro-ph/0502237v2>; K. Land, J. Magueijo. Examination of Evidence for a Preferred Axis in the Cosmic Radiation Anisotropy. Phys. Rev. Lett., 2005, vol. 95, no.7, p. 071301.