

Букалов А.В.

## **КВАНТОВЫЙ ПРИНЦИП ЭКВИВАЛЕНТНОСТИ: ГРАВИТАЦИЯ, АНТИГРАВИТАЦИЯ И ИНЕРЦИЯ**

*Центр физических и космических исследований, Международный институт соционики,  
ул. Мельникова, 12, г. Киев-50, 04050, Украина. e-mail: [bukalov.physics@socionic.info](mailto:bukalov.physics@socionic.info)*

Показано, что для внешнего наблюдателя квантовое тепловое излучение детектора, ускоренного или вращающегося в пространстве Минковского, полностью эквивалентно излучению детектора, который движется в антигравитационном вакууме, а квантовая термодинамика детектора с отрицательным ускорением полностью подобна термодинамике излучения черных дыр — эффекту Хокинга. Такое различие квантовых эффектов приводит к необходимости формулировки дифференцированного квантового нелокального принципа эквивалентности, по отношению к которому локальный принцип эквивалентности Эйнштейна является макроскопическим классическим приближением. Показано, что силы инерции можно описать как квантовую реакцию вакуума. Предложена формула для определения количества информации, которая соответствует вращающимся физическим, космическим телам и объектам, и компенсирует гравитационную энтропию черных дыр.

*Ключевые слова:* гравитация, эффект Унру, эффект Хокинга, антигравитация, энтропия черных дыр, информация, вращение, вакуум.

### **1. Введение**

В предыдущем сообщении [1] было показано, что информационное и энтропийное содержание горизонтов событий черных дыр и космологических горизонтов описываются действием  $S$  как квантомеханической фазой. В единицах действия выражается и момент импульса вращающихся тел, в том числе и космических объектов, что позволяет описывать общий баланс информации и энтропии Вселенной в планковских единицах действия  $\hbar$  в рамках фазового пространства Вселенной. Из такого подхода вытекает целый ряд важных следствий, имеющих значение для физики и космологии.

### **2. Квантовый принцип эквивалентности**

Рассмотрим теперь термодинамические следствия, касающиеся теплового излучения черных дыр (эффект Хокинга), эффекта Унру [2, 3, 7], эффектов, связанных с вращением и антигравитацией. Энтропии черной дыры соответствует излучение Хокинга с температурой

$$T_{BH} = \frac{\hbar c}{4\pi R_g k_B} = \frac{\hbar c}{k_B \sqrt{4\pi A}}, \quad (1)$$

где  $R_g$  — гравитационный радиус,  $A$  — площадь горизонта событий.

Из принципа эквивалентности следует эффект Унру: детектор, движущийся с ускорением  $\ddot{a}$  должен регистрировать положительную температуру вакуума  $T = \hbar \ddot{a} / 2\pi k_B c$ , как если бы вакуум был тепловым резервуаром. Это чисто квантовый эффект [2, 3]. Однако если момент инерции физического тела несет отрицательную энтропию [1], т.е. информацию,  $I_h = -S_h$ , то вращающемуся телу должен соответствовать поток излучения с отрицательной температурой. Тогда, в противоположность черной дыре, поглощающей вещество и информацию и испускающей тепловое излучение с положительной температурой, вращающееся тело должно испускать вещество и информацию и поглощать тепловое квантовое излучение в системе отсчета вращающегося с телом наблюдателя. Для внешнего наблюдателя ускоренное или вращающееся тело с центробежным ускорением  $\ddot{a}^*$  должно испускать кванты с отрицательной температурой:

$$\frac{\hbar \ddot{a}^*}{2\pi k_B c} = -T. \quad (2)$$

На вращающиеся тела действуют центробежные силы, стремящиеся растянуть это тело. Такое воздействие вызывает эффективное отрицательное натяжение.

Заметим, что аналогичный эффект возникает и в случае физического вакуума, или темной энергии, с отрицательным давлением:  $p_v = -\rho_v$ . Такой вакуум также проявляет антиэнтропийные свойства во Вселенной в целом [4, 5].

Рассмотрим теперь не ускоряющийся, а тормозящий детектор, то есть детектор, движущийся с отрицательным ускорением  $-\ddot{a}_{\text{det}}$ . Такой детектор испускает тепловое излучение и поглощает излучение с отрицательной температурой — как античастицы квантов теплового излучения с положительной температурой:

$$-\frac{\hbar \ddot{a}_{\text{det}}}{2\pi k_B} = -T. \quad (3)$$

Тогда в квантовом смысле такой процесс полностью подобен эффекту Хокинга для черной дыры, которая испускает тепловые кванты и поглощает кванты с отрицательной энергией, уменьшая свою массу.

Поэтому принцип эквивалентности Эйнштейна для локального наблюдателя в классическом макроскопическом случае, как равенство действия гравитационных сил и сил инерции  $mg = m\ddot{a}$ , на квантовом уровне оказывается не вполне точным, или не дифференцированным, поскольку не учитывает различие между квантовыми эффектами гравитации и антигравитации, положительным и отрицательным ускорением.

В уточнение и расширение локального эйнштейновского принципа эквивалентности действия гравитации и сил инерции, который описывает эквивалентность эффектов Хокинга и Унру в системе отсчета, связанной с детектором, автором **предлагается расширенный, или дифференцированный квантовый (квантово-нелокальный) принцип эквивалентности: на квантовом уровне, помимо локального равенства гравитационных и инерциальных сил, для внешнего наблюдателя существует нелокальная эквивалентность термодинамических эффектов испарения черных дыр и термодинамических эффектов излучения детектора, движущегося с отрицательным ускорением, а также нелокальная эквивалентность действия антигравитации, порождаемой вакуумом, и положительного ускорения, включая вращение, на термодинамические эффекты излучения детектора.**

То, что инерциальные и квантовые эффекты для ускоренных и вращающихся тел (детекторов) эквивалентны и подобны именно антигравитационному действию вакуума, или темной энергии, ранее никем не было установлено. Это новый квантовый эффект. В связи с этим подчеркнем, что в общем смысле гравитация, описываемая уравнениями общей теории относительности, порождает как силы притяжения, так и отталкивания [6].

Выше был рассмотрен еще один новый квантовый эффект, ранее не рассматривавшийся, — излучение детектора с отрицательным ускорением: для такого детектора вакуум представляет собой не тепловой резервуар, как для ускоренного детектора, а упорядоченную когерентную среду с отрицательной температурой, которая воздействует на тело, то есть источник негэнтропии. Такой детектор для внешнего наблюдателя подобен черной дыре, поглощающей частицы с отрицательной энергией при испарении частицы с положительной энергией. Таким образом возникают два новых квантовых эффекта (эффекты Букалова), которые углубляют понимание связи квантовых и гравитационных явлений, проявляясь и в космологических масштабах. Поэтому от макроскопического принципа эквивалентности (ПЭ) Эйнштейна

$$\vec{F}_{in} = \vec{F}_g, \text{ или } \ddot{a} = g.$$

можно перейти к записи дифференцированного квантово-нелокального принципа эквивалентности или подобия:

$$-\ddot{a} = g = \frac{-G_N M}{R^2}, \quad \frac{\hbar g}{2\pi k_B c} = T_g \quad (4)$$

$$\ddot{a}_2 = \omega^2 r = a_\Lambda = \frac{\Lambda}{3} c^2 R, \quad \frac{\hbar \ddot{a}_\Lambda}{2\pi k_B c} = -T_\Lambda \quad (5)$$

Для вращающегося тела воздействие центробежной силы порождает ускорение  $\ddot{a}_c$ , эквивалентное воздействию антигравитации, или  $\Lambda$ -члена. При этом во вращающемся теле инерциальные силы создают отрицательное давление и при возможности свободного движения ча-

стей тела, его растяжения, выбрасывают с ускорением вещество и поглощают квантовое тепловое излучение вакуума, излучают когерентное упорядоченное излучение с отрицательной плотностью энергии и температурой

$$T_{\omega} = -\frac{\hbar}{2\pi k_B c} \omega_0^2 r. \quad (6)$$

Эти эффекты и в классическом, макроскопическом, и в квантовом случае полностью противоположны гравитационным эффектам, порождаемых черными дырами.

В пространстве де Ситтера ускорение равно  $\ddot{a} = \Lambda a / 3$ ,  $a = a_0 e^{\sqrt{\Lambda} t / 3}$ , где  $a$  — масштабный фактор. Для вращающегося с частотой  $\omega$  диска с изменяющимся радиусом  $r(t)$  (или стержня, который может удлиняться под воздействием центробежной силы) ускорение удлинения

$$\dot{r}(r) = \omega^2 r(t), \quad r(t) = r_0 e^{\omega t}, \quad (7)$$

$$F(t) = m\dot{r}(t) = m r_0 \omega^2 e^{\omega t}, \quad (8)$$

что полностью аналогично движению в пространстве де Ситтера.

Суммарное ускорение при действии гравитации, антигравитации и центробежных сил

$$\ddot{a} = -\frac{G_N M}{R^2} + \omega^2 r + \frac{\Lambda}{3} c^2 R, \quad (9)$$

показывает эквивалентность, подобие, инерциальных центробежных сил и сил антигравитации в рамках обобщенного принципа эквивалентности.

При этом эквивалентная температура квантов, излучаемых движущимся телом (детектором) и регистрируемых внешним наблюдателем [4, 5]

$$T = \frac{\hbar \ddot{a}_i}{2\pi k_B c} = -\frac{\hbar g}{2\pi k_B c} + \frac{\hbar \ddot{a}_{\Lambda}}{2\pi k_B c} + \frac{\hbar \ddot{a}_{\omega}}{2\pi k_B c} = T_g - T_{\Lambda} - T_{\omega}, \quad (10)$$

Как известно, энтропия черных дыр равна  $S_{BH} = \pi R_g^2 / L_P^2$ . Для вращающихся космических тел количество информации (негэнтропия) составляет:

$$I_{\omega} = -S_{\omega} = -\frac{M \omega^2 r^2}{\pi k_B T_{\omega}} = -\frac{S(\hbar)}{\hbar} = -\frac{\pi R_{eq}^2}{L_P^2}. \quad (11)$$

Эта информация аналогична информации и излучению белой дыры, как черной дыры обращенной во времени.

### 3. Силы инерции на квантовом уровне

Отметим, что излучение, регистрируемое детектором в системе отсчета, связанной с ним, имеет положительную плотность энергии и температуру при положительном знаке ускорения в пространстве Минковского (эффект Унру)  $T_v = \hbar \ddot{a} / 2\pi k_B c$ , что эквивалентно регистрации излучения черной дыры (эффект Хокинга) для внешнего удаленного наблюдателя, и отрицательную плотность энергии при отрицательном ускорении (торможении) детектора в его системе отсчета, что эквивалентно излучению антигравитационного горизонта для удаленного наблюдателя  $T_{\Lambda}^* = -\hbar \ddot{a} / 2\pi k_B c$ . Тогда сила инерции определяется температурой вакуума, эквивалентной ускорению. Фактически такое квантовое воздействие вакуума, его виртуальных квантов эквивалентно силам инерции, или гравитации, действующим на ускоряющееся тело.

$$F_{in} = -m\ddot{a} = -mc \frac{2\pi k_B T_v}{\hbar} = -p \frac{2\pi k_B T_v}{\hbar} = -mc \frac{2\pi}{t_v} = -mc \omega_v = -\frac{\hbar \omega_0 \omega_v}{c} = -\hbar \omega_0 k_v, \quad (12)$$

где  $k_v = \omega_v / c$  — волновой вектор,  $\ddot{a} / c = \omega_v$  или  $\ddot{a} / c^2 = k_v$ .

$$\hbar F_{in} = -mc^2 \hbar k_v = -\hbar \omega_0 \hbar \omega_v / c. \quad (13)$$

Таким образом, мы получили формулу квантового воздействия, или отклика, вакуума на ускоренное тело, и это квантовое воздействие — реакцию вакуума — можно рассматривать как причину сил инерции. Аналогичным образом в рамках термодинамики вакуума можно описать и гравитацию. При  $m\ddot{a}_c = G_N M m / R^2$ ,  $M = \ddot{a} R^2 / G_N = 2k_B T_c \pi R^2 / L_P^2 c^2$ ,  $S_{eq} = M / 2k_B T_c = \pi R^2 / L_P^2$ . Последняя формула полностью совпадает с формулой для энтропии черной дыры, показывая

связь между термодинамикой вакуума и гравитацией. Для пробного тела (детектора), находящегося на расстоянии  $R$  от тяготеющего тела с массой  $M$ , эквивалентная энтропия гравитационного поля составляет  $S_{eq}$ . Рассматривая центробежную силу при вращении  $F_{\omega} = -F_c$ , получаем формулу для информации (негэнтропии) вращающегося тела:  $I_{\omega} = -S = -2k_B T_{\omega} \pi R^2 / L_P^2$  в полном соответствии с полученными ранее результатами.

#### 4. Выводы

1. Ускорение и вращение физических космических тел приводит к квантовым эффектам, таким как эффект Унру, которые в квантово-нелокальном смысле, для внешнего наблюдателя противоположны к эффекту Хокинга для черных дыр: квантовому поглощению теплового излучения и испусканию излучения с эффективными отрицательными плотностью энергии и температурой. Эти квантовые эффекты, согласно предложенному нами квантово-нелокальному принципу эквивалентности, эквивалентны или подобны действию антигравитирующего вакуума с уравнением состояния  $\rho = -p_v$  на детектор и космические тела.
2. Для тел и детекторов с отрицательным ускорением термодинамика квантовых эффектов излучения и поглощения тепловых квантов эквивалентна или подобна термодинамике излучения черных дыр — эффекту Хокинга.
3. Обнаруженные и описанные квантовые эффекты (эффекты Букалова) и дифференцированная квантовая формулировка принципов эквивалентности показывают ограниченность применения классического макроскопического локального принципа эквивалентности Эйнштейна, его недостаточность для описания реальных процессов на квантовом нелокальном уровне.
4. Космические вращающиеся объекты, например планеты, звезды и галактики, наряду с антигравитирующим вакуумом [4, 5] вносят информационное упорядочение в структуру Вселенной, поскольку проявляют антигравитационные и антиэнтропийные свойства и эмитируют негэнтропийное излучение с отрицательной температурой, которое действует упорядочивающим образом на детектирующие его объекты эволюционирующей Вселенной.

#### Л и т е р а т у р а :

1. Букалов А.В. Энтропия черных дыр и информация во Вселенной // Физика сознания и жизни, космология и астрофизика. — 2014. — № 2. — С. 7–10.
2. Unruh W.G. Phys. Rev. D **14** 870 (1976)
3. Бирелл Н., Девис П. Квантовые поля в искривленном пространстве-времени. — М.: Мир, 1984. — 356 с.
4. Букалов А.В. Темная энергия и энтропия Вселенной // Физика сознания и жизни, космология и астрофизика. — 2012. — № 3. — С. 31–33.
5. Букалов А.В. Уменьшение энтропии потоков галактик и энтропии Вселенной в целом при доминировании темной энергии // Физика сознания и жизни, космология и астрофизика. — 2013. — № 3.
6. Лукаш В.Н., Михеева Е.В. Физическая космология. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. — 404 с.
7. Менский М.Б. Релятивистские квантовые измерения, эффект Унру и черные дыры. // ТМФ. — 1978. — Т. 115. — № 2. — С. 215–232.

Статья поступила в редакцию 15.12.2013 г.

*Bukalov A.V.*

#### **The quantum principle of equivalence: gravity, anti-gravity and inertia**

It is shown that for an external observer quantum thermal radiation of the detector, accelerated or rotating in Minkowski space, fully equivalent to the radiation of detector, which moves in anti-gravitational vacuum, and quantum thermodynamics of the detector with a negative acceleration is completely similar to the thermodynamics of black holes (Hawking effect). This difference of quantum effects leads to the need of differentiated formulations of quantum nonlocality principle of the equivalence, in relation to which the local Einstein equivalence principle is a macroscopic classical approximation. It is shown that the inertial forces can be described as a quantum reaction of vacuum. The formula for determining the amount of information that corresponds to a rotating physical space bodies and objects, and compensates the gravitational entropy of black holes is proposed.

*Keywords:* gravity, Unruh effect, Hawking effect, antigravity, entropy of black holes, information, rotation, vacuum.