



*Прочти и передай другому!*

# О к.п.д. машины времени

## 1. Как увидеть будущее?

В прошлом номере «Тени» было рассказано о будущем Вселенной, но ведь лучше один раз увидеть, чем сколько-то раз прочесть. И многие знают, что увидеть будущее можно без всякой альтернативщины, на строгой физической базе. Правда, ценой жизни, потому что место, где всем показывают это увлекательное кино, — преддверие горизонта чёрной дыры, откуда, разумеется, нет возврата.

В 2009 г. в «Успехах физических наук» вышла методическая заметка А. Гриба и Ю. Павлова «Возможно ли увидеть бесконечное будущее Вселенной при падении в чёрную дыру?»\*. Для простейшего случая свободного радиального падения в шварцшильдовскую дыру авторы доказывают там: **бесконечное** будущее увидеть невозможно!

Но, кто знает, может даже за конечное, но длинное будущее кто-то готов умереть? Находятся же желающие слетать на Марс в один конец, так этим помирать в муках лучевой болезни или удушья/голода/жажды, а визитёра в чёрную дыру мгновенно и практически безболезненно рвёт на атомы приливной силой гравитации.

Чёрные дыры, по крайней мере, звёздных масс — не такая уж редкость, в среднем где-нибудь не далее 20 световых лет от нас должна невидимкой сидеть такая.\*\* А если реальны дыры меньших масс, то такие могут встретиться и ближе. Так что давайте посчитаем, сколько же будущего можно увидеть, оглянувшись у горизонта.

## 2. А что есть будущее?

Для начала определить бы, что есть настоящее! Узнать что-либо о внешнем мире мы умеем (если без парапсихологии и фармацевтики) благодаря получению сигналов.

Зажмурившись и прислушиваясь, я, предположим, одновременно различаю тиканье часов с кухни, вой сирены в отдалении пары-тройки улиц, гудок поезда с нескольких километров. Это моё настоящее, настоящее моего текущего мига. Но, исходя из скорости звука, я понимаю, что это прошлое пространство: минус доли секунды для кухни, минус секунда-другая для улиц, минус десяток секунд для полюсы рельс.

Открыв глаза и вооружившись идеями общей теории относительности (ОТО), я понимаю, что для световых сигналов, формирующих визуальный образ моего настоящего, правильнее говорить о некоем гиперконусе, вырезающем из 4-мерного пространства-времени слайд: днём Солнце на минус шести с хвостиком минутах, ночью Луну на минус секунде с хвостиком и звёзды на минус годах и более.

А с радиотелескопом и телеметрией с орбитальных спутников я круглосуточно имею гиперконус почти всей Вселенной; для любого расстояния от меня однозначно определяется его минус по шкале моего времени.

Определяется, как упоминалось в прошлой «Тени», далеко не линейно. Например, изощрённая чувствительность техники близкого будущего позволит дотянуть этот конус

нашего (земного) настоящего до расстояний более 40 млрд. световых лет, а минус по времени там выйдет менее 14 млрд. лет, и это года того же летящего оттуда света. Такие фокусы, ничего не попишешь, надо привыкать.

В идеологии ОТО ничего кроме этого конуса объективно и нет. Что донесли мне сюда и сейчас фотоны или гравитоны, то я и знаю о мире. А вот захоти я эмпирически измерить какую-то длину, какое-то время, — и всё тут же плывёт. Расширяется Вселенная, масса влияет на метрику и обратно, релятивистски меняются длины и продолжительности в зависимости от скоростей и систем отсчёта, и т. п.

И что же есть будущее, спрашиваю я вас? Это вопрос!

Давайте его не будем поднимать в 4-страничном газетном номере во всей полноте. Определимся прагматично. Мы взялись разбираться с машиной времени, работающей вполне определённым образом. В некий начальный момент времени Сталкер должен каким-то образом освободиться от влияния всех внешних сил, зафиксироваться в этот миг строго стационарно относительно чёрной дыры (ни радиальных перемещений, ни угловых, иначе математика слишком потяжелеет), — и начать на неё свободное падение. В этот миг нулевого покоя он, оглянувшись, видит некий гиперконус Вселенной, — его настоящее в тот миг.

Так вот, вообразим, что он технически так изощрён, что видит не просто звёздочки и туманности, а различает циферблаты или дисплеи тамошних часов. И умеет переводить их показания  $t_{i,j,k...}$  в свои единицы счёта времени  $\tau$ . И в ходе падения постоянно смотрит и сличает, сколько времени прошло там-то ( $\Delta t_{i,j,k...}$ ), а сколько (в тех же единицах) на его бортовых часах ( $\Delta \tau \equiv \tau$ ). И всё, что на их часах будет превышать показания его часов ( $\Delta t_{i,j,k...} - \tau = \Theta_{i,j,k...}$ ), — это и будет увиденное им будущее Вселенной. Которого он не увидел бы, не пойдя к дыре.

Естественно, для каждого удаления оно будет своё, зависящее от расстояния между  $i$ -ми часами и центром дыры в начальный момент (при  $\tau = 0$ ):  $\Theta_i = f(R_{i0})$ .\*

## 3. Сколько будущего доступно?

Гриб с Павловым делали свои расчёты в рамках ОТО, теории, как известно, классической, некантовой. Но нынче, когда уже и гравитационные волны открыты, никуда не денешься: где волны, там и кванты, так что нужна квантовая теория гравитации. А её нет. Есть лишь оценка, где же

\* Это расстояние в идеологии ОТО надо признать фикцией, как и **любое** расстояние. Чтобы измерить расстояние, нужно физически пройти или лучом прострелить от точки А до точки Б, а на это нужно время, а за время метрика неизбежно поменяется (мы ведь тут о космологических расстояниях говорим!), — но релятивисты героически закрывают на это глаза, ведь *что-то же надо дифференцировать, чтобы определить компоненты тензора!* А как дифференцировать, если переменные  $x$  и  $t$  объявить фикцией? Вот и мы, как хитро протащили только что в наши рассуждения нечто вроде абсолютного времени, так же будем с невозмутимо релятивистской миной использовать нечто вроде абсолютного пространства.

\* А. А. Гриб, Ю. В. Павлов. // УФН, т. 179, № 3 (март), с. 279–283.

\*\* См.: <http://mir.k156.ru/ligo/ligo.html#c11>.

примерно (с точностью, как говорится, до порядка) перестают действовать классические законы и начинаются квантовые. Это так называемые планковские масштабы: для расстояний — планковская длина,  $l_p \approx 1,6 \cdot 10^{-35}$  м. Когда зазор до горизонта становится меньше, уравнения ОТО уже, видимо, неприменимы.

В квантовой теории есть и другой, не менее фундаментальный постулат: принцип Гейзенберга. Он связывает неопределённость в значениях импульса и координаты неравенством  $\Delta p \cdot \Delta x \geq \hbar/2$ . Однако в задаче нашего типа импульс зависит от координаты, потому что по формулам ОТО скорость приближения к дыре ( $v = -dx/dt$ ) однозначно связана с расстоянием до горизонта  $x$  через гравитационный радиус дыры  $R_g$ :

$$v = c \cdot x / R_g, \text{ откуда } \Delta v = c \cdot \Delta x / R_g,$$

и мы можем выразить из неравенства Гейзенберга:

$$\Delta x \geq l_H \equiv [\hbar \cdot R_g / (2 \cdot m \cdot c)]^{1/2}$$

Например, для Сталкера, отправившегося к горизонту дыры с  $R_g = 10$  км (т. е. массой немного больше трёх Солнц) в капсуле массой  $m = 1$  т,  $l_H = 4,2 \cdot 10^{-20}$  м.

С нашей точки зрения, субъядерный зазор размером что  $l_p$ , что  $l_H$  (обозначим этот квантовый шаг просто  $l_q$ ) — это нуль, это практически горизонт. Так что пока отложим вопрос о том, что будет происходить на следующем (уже квантовом) этапе движения к горизонту и за него, и посчитаем картину вплоть до этого последнего классического рубежа.

Будем обозначать:  $R$  — координата, отсчитываемая от центра дыры\*;  $R_0$  — расстояние, откуда, приведя себя в состояние покоя относительно чёрной дыры, под действием её гравитации в момент  $t_0 = \tau_0 = 0$  начал свободно (других сил на него не действует) падать к дыре Сталкер;  $t$  — время по часам, как-то зафиксированным в точке  $R_0$  (только не спрашивайте, как, и не спрашивайте, что такое зафиксировать!!!);  $\tau$  — время, которое в точке  $R$  показывают часы Сталкера;  $R_g$  — радиус горизонта чёрной дыры.

Чем ближе Сталкер подлетает к дыре, тем искривлённее пространство-время и тем сильнее  $\tau$  на его часах будет отставать от  $t$  на часах в точке  $R_0$ . Секунда Сталкера в точке  $R$  длиннее секунды в стартовой точке  $R_0$  в

$$dt/dt = (1 - R_g/R) / (1 - R_g/R_0)^{1/2} \approx 1 - R_g/R \text{ раз.}$$

Для случая квантовых зазоров формулы ОТО упрощаются, и при  $R \rightarrow R_g \ll R_0$  с помощью переменной  $x = R/R_g$  получаются удобные приближения:

$$\tau \approx \tau_g - (2/3) \cdot t_g \cdot x^{1,5} \approx \tau_g = (\pi/2) \cdot t_g \cdot (R_0/R_g)^{1,5},$$

$$t \approx \tau + t_g \cdot \{\ln[(1 + x^{1/2}) / (1 - x^{1/2})] - 2 \cdot x^{1/2}\},$$

а для зоны, где пора готовиться к концу классики ОТО, т. е. когда  $R - R_g \ll R_g$ :

$$t \approx \tau + t_g \cdot \{\ln[2 / (1 - x^{1/2})] - 2\} \approx \tau + t_g \cdot (\ln 4 - 2 - \ln \delta),$$

где  $\delta = x - 1$  — новая переменная, безразмерная величина зазора от Сталкера до горизонта;  $\tau_g$  — время ньютоновского падения от  $R_0$  до  $R_g$ , а  $t_g = R_g/c$  — время пролёта фотона от горизонта до центра дыры.

В последней формуле второе слагаемое даёт  $\Theta_0$ , «объём будущего» о точке  $R_0$ , который может увидеть Сталкер, долетевший до последнего планковского или гейзенберговского зазора перед горизонтом. Для дыры с  $R_g = 5$  км имеем:  $t_g = 0,0167$  мсек, и:

$$\text{для } \delta = l_p/R_g = 3,2 \cdot 10^{-39}: \quad \Theta_0 = 0,00147 \text{ сек};$$

$$\text{для } \delta = l_H/R_g = 8,4 \cdot 10^{-24}: \quad \Theta_0 = 0,000877 \text{ сек.}$$

Мягко говоря, немного! И даже если мы возьмём сверхгигантскую чёрную дыру массой в десятки миллиардов солнечных, у которой и  $R_g$  будет соразмерно больше, то и её объём будущего, еле-еле достигнув полугода или около того, как-то не впечатляет. Не настолько, чтобы рваться напополам.\* Не говоря о том, что такую дыру в 20 световых годах от нас не найти. Тут десятками и сотнями миллионов световых лет пахнет!

И ведь  $\Theta_0$  — это лишь гипотетический объём будущего. Практически же, даже в том определении, которое мы приняли, показания удалённых часов нужно ещё доставить на то расстояние, на которое Сталкер удалился от точки  $R_0$ , а на это тоже уходит время... Из формулы 10 в заметке Гриба с Павловым ясно видно, что из точек, лежащих от дыры дальше  $4 \cdot R_g$ , Сталкер, даже на самом горизонте, сможет получить сигналы лишь о тех их временах, которые предшествовали его старту из  $R_0$ . Такое вот будущее из прошлого...

А изящным финальным выпадом Гриб с Павловым на диаграмме движений Сталкера и фотонов в специальных координатах, работающих и до и после горизонта, убедительно доказывают, что и внутри горизонта никакого бесконечного будущего Вселенной не увидать!

Но, правда, они корректно оговариваются, что эти расчёты справедливы только для дыр Шварцшильда (ДШ). А их, надо сказать, при коллапсах звёзд не должно образовываться. Звёзды ведь вращаются, — и поэтому сжимаются в дыры Керра (ДК), совсем непохожие на ДШ во многих важных для нас отношениях.

#### 4. Дыры Керра. Эргосферы.

Сферический горизонт, свойства которого близки к шварцшильдовскому, у ДК окружён ещё областью, откуда можно вернуться, — эргосферой. В ней ДК создаёт вихревое, не ограниченное даже скоростью света (!), гравитационное поле такой силы, что ни частицам, ни фотонам там невозможно двигаться, не вращаясь вокруг дыры. Если они вращаются против вращения самой дыры, то, скорее всего, упадут на её горизонт, а вот если в ту же сторону, то могут и выйти из эргосферы не внутрь, а наружу.

Эргосфера обычно имеет форму сплюснутого сфероида, «тыквы». Она смыкается со сферой горизонта на полюсах оси вращения ДК, а на экваторе имеет радиус ДШ. Такая форма канонических эргосфер, которые, по расчётам Кипа Торна, стабильно возникают при аккреции (падении) окружающего вещества на ДК. Это вещество в реалистичных астрофизических сценариях почти неизбежно вращается в ту же сторону, что и дыра, и своим вращением при падении под горизонт ускоряет дыру. Но из-за сильного разогрева это вещество излучает энергию (фотоны), а те с равной вероятностью могут двигаться как против, так и по вращению ДК. Однако вероятность захвата первых выше, и фотоны преимущественно замедляют дыру. В 1974 г. Торн показал, что довольно стабильное равновесие ускоряющего эффекта вещества и замедляющего эффекта фотонов достигается при  $R_g(\text{ДК}) = 0,532 \cdot R_g(\text{ДШ})$ . Чем медленнее вращается дыра, тем больше коэффициент в этом соотношении и тем меньше объём эргосферы. При нулевом вращении этот объём равен нулю, а ДК превращается в ДШ.

\* Кстати, насчёт этого разрыва. Он может и физически не произойти, потому что все тела, к счастью, инертны, а масштаб времени падения в дыру звёздной массы ничтожно мал. Но если уж какому-то телу и суждено будет порваться, нервный сигнал из разрыва не успеет осознаться мозгом: физиологическое время осознания чего-либо (~0,01 сек.) много больше времени, остающегося до физического уничтожения вещества самого мозга.

\* Координату чего, если говорить о субъядерных расстояниях? Координату, очевидно, передней точки капсулы (или скафандра) Сталкера. Да, каждая его точка воспринимает картину оставляемой Вселенной по-своему. Сталкер испытывает не только приливные силы, но и хроносдвиги, причём у горизонта — вполне серьёзные.

### 5. Время в эргосфере.

Нас здесь интересует, где лежит поверхность бесконечного красного смещения (БКС) для удалённого наблюдателя, она же поверхность бесконечного синего смещения (БСС) для Сталкера. То есть область машины времени. Простой ответ: этой поверхностью является горизонт ДК. Однако, как заметили Лифшиц и Ландау, и отдельные точки внешней поверхности эргосферы при специальных значениях энергии и момента импульса Сталкера могут потребовать от Сталкера бесконечно большого времени по часам удалённого наблюдателя, чтобы этих точек достигнуть.

Мы, в общем, можем не ломать голову над этими тонкостями. Достаточно для дальнейшего хода мысли одной аксиомы: где-то вокруг ДК такая поверхность есть, и чем ближе к ней, тем сильнее разница хода времени у Сталкера и у остальной Вселенной. Причём, когда зазор исчисляется квантовыми величинами, эта разница  $dt/d\tau = \alpha$  может составлять довольно много порядков (до десятка, а то и двух). Тот же нобелиат Кип Торн для фильма «Интерстеллар» подобрал физически маловероятные, но возможные параметры, при которых даже не падающее в дыру, а вращающееся на стабильной орбите тело испытывало разницу хода времени почти в 4,8 порядка.

### 6. Конденсат будущего.

В «Интерстелларе» красиво (потому что научно правильно!) показано, что видит Сталкер, глядя на дыру. Но нас здесь больше интересует, что он увидел бы, оглянувшись, как жена Лота.

Для ДК это давно посчитано. По мере приближения к поверхности БСС, чёрное поле дыры начинает, так сказать, заворачиваться за затылок Сталкера. Вселенная, которая должна была бы занимать весь горизонт, сужается во всё более малый и слегка деформированный кружок. Центр его почти неизменен, но к краям плотность светил быстро нарастает, примерно так же, как при виде на дыру анфас.

Впрочем, и в центре этого квазикружка Вселенная будет совсем не той, из которой стартовал Сталкер. Синее смещение! Если время Вселенной для Сталкера ускоряется в  $\alpha$  раз, то это автоматически значит, что длины волн всех приходящих оттуда фотонов в  $\alpha$  раз сократятся. Иными словами, их энергия в  $\alpha$  раз вырастет. Светила даже в центре посинеют, а то и уйдут в рентген или в гамма-излучение (смотря каким будет  $\alpha$ ). Плюс за счёт сжатия видимого образа Вселенной в квазикружок (а по сути дела, в квазикольцо) весь обычно распределённый по небесной сфере поток вселенского излучения здесь будет бить по Сталкеру из весьма узкого источника. Смотреть на это без светофильтра явно не стоит!

### 7. Будущее из прошлого?

Нас дальше будет интересовать найденный Р. Пенроузом в 1969 г. процесс возвращения из эргосферы (о деталях его чуть ниже), а для *такой* траектории, как подсказывает интуиция, объём будущего Вселенной, который увидел бы внутри эргосферы Сталкер, своим источником имеет практически лишь прошлое Вселенной (аналогично тому, о чём говорилось в 3-й главе).

Логично ожидать, что в большинстве случаев по часам Сталкера его движение около поверхности БСС идёт почти со световой скоростью, и в мизерной околосветовой области, где  $\alpha$  может достигать величин в десятки порядков, время пребывания  $\Delta t$  будет столь же мизерным, так что, умножив Огромное Число  $\alpha$  на Ничтожное  $\Delta t$ , мы получим скорее всего Маленькое  $\Delta t$ , как и в случае ДШ.

Но даже если Сталкер всё специально подгонит и выведет капсулу на эксклюзивную траекторию, довольно стационарную и в то же время довольно близкую к границе БСС, и капсула пробудет там год с коэффициентом  $\alpha = 10^6$ , то какой миллион лет он увидит? Из ближайших к дыре

окрестностей это будет миллион лет будущего по отношению к дате старта Сталкера в эргосферу, но Сталкер в это будущее и приедет, то есть никакому тамошнему Будетлянину ничего о *будущем этого Будетлянина* рассказать не сможет. А чем дальше, тем сильнее этот миллион будет уходить в прошлое по отношению к дате старта: если пренебречь космологическим расширением Вселенной (на таких масштабах можно), то ровно со скоростью света. И вот о Вселенной дальше 1 млн. св. лет от себя Сталкер ничего раньше времени своего старта уже и не узнает. Хотя всё будет по-честному: он за год наматывания витков словит все кванты излучения и биты информации, которые прошли бы через это место за миллион лет после его старта, не будь там ДК.

### 8. Кот Керра – Пенроуза, или... Хронодыба??

Есть ещё одна тонкость для макротел, которая и в ДШ существует, но в эргосфере ДК обостряется до макропроблемы, и мне не хватает ни техники, ни даже воображения её разрешить. Величина  $\alpha$  с уменьшением зазора до горизонта ( $\delta$ ) нарастает хотя и не так круто, как у ДШ ( $\sim 1/\delta$ ), но заметно ( $\sim 1/\delta^{0.5}$ ). Если нос 10-метровой капсулы Сталкера вынырнет из эргосферы в будущем +1 млн. лет, то её центр – в будущем +1377 лет, а корма – в будущем +974 года. Масштаб разниц ясно указывает, что проблема коснётся и тела, и даже любого органа Сталкера.

У нас, живущих в поле гравитации Земли, конечно, тоже темная часть мозга живёт ускореннее, чем низележащие, но здесь разница много меньше времени физиологических процессов, и мы ощущаем себя единым целым. А вблизи горизонта всё будет совсем не так! И уж совсем не так будет в эргосфере, где вблизи горизонта можно находиться *долго!* Каково будет мозгу, если часть его проживает год, а другая «за то же время» – лишь 10 месяцев (для этого ближний край мозга должен отстоять от горизонта примерно на 45 см, что, наверное, технически возможно)? Что будет осознавать и воспринимать сознание хозяина такого мозга (если сознание и материя мозга связаны)?

А если мы ещё вспомним, что сам параметр времени удалённого наблюдателя  $t$  в эргосфере, по ряду формальных математических критериев, как пишут специалисты, перестаёт иметь смысл времени? А получает этот смысл некий комплекс из координат времени и пространства? Я не буду в это углубляться, поскольку бытие в эргосфере для Сталкера – лишь этап биографии, позже Сталкер возвращается в обычный мир, а вдали от эргосферы пространство-время Керра стремится к обычному, практически ньютоновскому, то есть переменная  $t$  снова станет его временем.

Но что при этом будет происходить, куда (в смысле времени) он вернётся, а главное, как он вернётся, будучи равномерно размазан по макрошкале внешнего времени каждым своим кварком, имевшим собственную траекторию в 4-мерии, и проч. и проч., – это, увы, мне и вам остаётся лишь спрашивать у крутых профи и ждать, пока они это нам популярно объяснят!

Говоря точнее, они должны нам разжевать, как это будет происходить *не только во времени, но и в пространстве*. Вот корма (10-й метр), появляется, положим, в будущем +1 месяц, а 9-й метр тогда – в будущем +31,6 дней: но ведь корма эти лишние 39 часов не ждала его у точки своего появления, а продолжала движение, и, между прочим, с околосветовой скоростью! Представьте, где окажется 10-й метр, когда вынырнет из эргосферы 9-й метр, и где оба они окажутся, когда ещё через 46 час. вынырнет 8-й метр, и т. д., и, наконец, почти через 65 дней – 1-й метр! (Нулевым, допустим, придётся пожертвовать ради возвращения: это и есть процесс Пенроуза: тело в эргосфере должно особым образом расщепиться, часть падает за горизонт, а другая часть может выйти из эргосферы в исходное пространство-время.)

Учитывая популярность котов в физике, я бы назвал это явление *Котом Керра – Пенроуза*, – правда, продолжая не столько мировую пен-линию Кота Шрёдингера, сколько Чеширского Кота. Хотя больше это похоже на дыбу...

### 9. Хронодвигатель.

Продолжим рассуждение, начатое в 7-й главке. Итак, пребывая на некоем зазоре от горизонта, тело, а лучше сказать, часть тела, испытывает воздействие от Вселенной, ускоренное и «усинённое» в  $\alpha$  раз. Что это будет за воздействие? Очевидно, потоками вещества извне можно в первом приближении пренебречь, падать на горизонт будет преимущественно вещество из окружающего дыру аккреционного диска. А вот излучение – дело другое.

Дыра звёздных масс типично живёт в галактике, сверхзвёздных – в ядре галактики. Там что-то излучает непрерывно. Плюс доходят излучения от других галактик и существует всеобщий фон реликтового излучения.

Если почитать литературу и немного посчитать, получается (с точностью до 1–2 порядков) то, что и так без расчётов интуитивно ожидаемо: главный вклад в излучение на объект в эргосфере вносит излучение от окружающего дыру аккреционного диска. Другие виды излучений, включая и гипотетический взрыв парной с дырой сверхновой (при типичных параметрах мощности и удалённости), на много порядков меньше.

Диск, как уже говорилось, представится из эргосферы не полосой наподобие ультраяркого Млечного Пути, а скорее двумя нестерпимо яркими точками на ободке квазиокружности, в которую стянутся Вселенная. Но это так, замечание скорее художественное, поскольку эти геометрические эффекты не влияют на мощность излучения.

Её, по существующим у теоретиков представлениям, будет порождать внутренняя поверхность аккреционного диска (плюс кое-что будет поступать и из более удалённых областей, но этим мы пока пренебрежём). Правда, теоретики ожидали, что эта внутренняя поверхность будет от дыры на расстоянии порядка  $3 \cdot R_g$ , а первые измерения (на объекте XTE J1118+480 массой 7 Солнц в 2000 г.) показали, что она **в 24 раза дальше**. Но это может быть просто особенная дыра. У сверхмассивной дыры в центре галактики M87 массой  $6 \cdot 10^9$  Солнц в 2012 г. измерили весь радиус аккреционного диска, и он оказался порядка  $5,5 \cdot R_g$ , так что примем всё же оценку внутреннего радиуса в  $3 \cdot R_g$ .

Если мы оценочно опишем вещество диска как водородную плазму при температуре  $T_d$  ( $\sim 10^{6-7}$  К) с уравнением состояния идеального газа, то толщина диска будет порядка  $3,5 \cdot 10^{-6} \cdot (T_d \cdot R_g [M])^{0,5}$ , а если, опять-таки оценочно, принять, что диск излучает как абсолютно чёрное тело, то мощность излучения от его внутренней поверхности и от короны примерно такой же площади с  $T_K$  ( $\sim 10^{8-9}$  К) будет порядка  $W [Вт] = \sim 4 \cdot 10^{-12} \cdot (R_g [M])^{1,5} \cdot T_d^{0,5} \cdot T_K^4$ . Благодаря примерно 24-кратному увеличению мощности притягиваемого к горизонту излучения за счёт гравитационного линзирования (по сравнению с простой геометрией) и хронолинзированию в  $\alpha$  раз, поток излучения на  $1 \text{ м}^2$  сечения тела, оказавшегося у горизонта ДК в зоне  $\alpha$ , будет порядка  $\Phi [Вт/м^2] = \sim 1,6 \cdot 10^{-12} \cdot \alpha \cdot T_d^{0,5} \cdot T_K^4 / (R_g [M])^{0,5} = \sim 10^{23-27} \cdot \alpha / (R_g [M])^{0,5}$ .

Например, у канонической дыры с массой  $\sim 10$  солнечных в зоне, где  $\alpha = 10^5$ , это  $\sim 10^{26-30}$  Вт/м<sup>2</sup>. Для сравнения: лёжа прямо «на поверхности» Солнца, тело получало бы  $\sim 5 \cdot 10^{19}$  Вт/м<sup>2</sup>: в миллиарды раз меньше! И там, на Солнце, тело поглощало бы мягкие тепловые и видимые кванты, а в

области  $\alpha = 10^5$  и так-то рентгеновское излучение диска и короны превращалось бы за счёт синего смещения в поток жесточайших гамма-квантов! Это круче Геенны!

Мы можем реалистично предположить, что тело (или хотя бы какой-то его тонкий поверхностный слой) в месте контакта с этим потоком излучения практически мгновенно примет равновесную температуру  $T_\alpha$ . Положив для оценки тело абсолютно чёрным, из закона Стефана – Больцмана получим:  $T_\alpha = \sim 0,1 \cdot T_K \cdot (\alpha^2 \cdot T_d / R_g [M])^{1/8}$ . Для предыдущего примера это  $\sim 3 \cdot T_K$ , то есть порядка многих сотен миллионов градусов.

Это и есть хронодвигатель. Приближаясь к горизонту, тело с ближней к нему стороны (где  $\alpha$  всегда выше) рано или поздно начнёт испаряться, плазмифицироваться и испускать всё более мощный поток излучения, и реактивная сила этого выхлопа будет отталкивать его (точнее, его остаток) от горизонта. Поскольку по мере погружения в горизонт площадь контакта тела с поверхностью максимального  $\alpha$  всё возрастает, и с нею возрастает тяга выхлопа, а инертный остаток тела при этом всё убывает, то в какой-то момент тяги должно хватить для вывода тела на орбиту выхода из эргосферы. Конечно, при условии, что тело к этому моменту не расплылось полностью! Тогда наружу выйдет его облачный «призрак».

### 10. Эргосфера как Анатом и гамма-всплески.

В среднем раз в день астрономы регистрируют очень короткие (1–2 сек.), очень далёкие (миллиарды световых лет) и страшно мощные (до  $10^{45-47}$  Дж) вспышки гамма-излучения из всех концов Вселенной. Порой они дают вторичные всплески, иногда даже сопоставимые по мощности с первичными и отделённые от них интервалом, достигающим порою часов.

Возможно, часть таких вспышек вызвана особым режимом падения в эргосферу звёзд с окружающими их планетами и парными звёздами. Как уже упоминалось, в эргосфере все тела **обязаны** вращаться вокруг дыры. А звезда, притягиваемая гравитацией дыры, могла ведь и не иметь достаточного вращения при входе в эргосферу. И ведь звезда – это довольно протяжённый объект, то есть в эргосферу она входит отнюдь не одномоментно.

Как может выглядеть этот процесс? Не произведёт ли эргосферное завихрение пространства-времени нечто вроде «размотки» вещества супротивно шедшей звезды в широкую полосу по периметру эргосферы? Ответ можно получить только моделированием на суперкомпьютере, но если грубо оценить, что «размотка» идёт с околосветовой скоростью, и вширь вещество звезды, лишившись баланса гравитации и давления, тоже хотя бы несколько раздастся, то за время порядка секунды из недр звезды может выйти на свет довольно пространная полоса плазмы температурой в миллионы и десятки миллионов градусов, а из нейтронной звезды – за ничтожную долю секунды полоса квазиядерного вещества с температурой под 100 млн. градусов.

Такие внезапно явленные «потроха» способны и излучить как раз сколько надо (по порядку) энергии, и остыть примерно за нужное (по порядку) время, и, при аналогичной «размотке» тел-спутников, через требуемый (по порядку) интервал или интервалы дать вторичный всплеск или всплески подходящей (по порядку) мощности.

Подобный сценарий, если вообще возможен, явно требует весьма специального сочетания параметров и дыры, и звезды, и её спутников, что и объясняет его редкость и разнообразие качественных типов. И первое для нас очень хорошо, потому что, случись такое событие в центре *нашей* Галактики, на Земле осталось бы мало живого!

Так что будем жить да радоваться! С Новым годом, братцы!