

СИСТЕМАТИКА РЕЛЯТИВИСТСКИХ ОБЪЕКТОВ С ГОРИЗОНТАМИ
СОБЫТИЙ (ОТОНОВ) И МНОЖЕСТВО ОТОННЫХ МИРОВ

А.П. Трофименко

Астрономическая секция Минского отделения Всесоюзного астрономо-
геодезического общества, Минск, 220012, СССР

Рассматривается и систематизируется множество релятивистских объектов (отоннов) и систем отсчета в расширенных пространственно-временных многообразиях общей теории относительности. Наличие в них самостоятельных пространственно-временных областей трактуется как множество отонных миров. В расширенном пространстве-времени Керра-Ньюмена анализируются возможные взаимопревращения релятивистских объектов. Вспышки белых и серых дыр (отоннов) интерпретируются как проявление отонных миров.

1. Введение

Пространственно-временное многообразие черной дыры в общем случае описывается метрикой Керра-Ньюмена, которая записывается в сплюснутых квазисфероидальных координатах следующим образом (здесь и далее используются геометризованные единицы, в которых $c = G = 1$) [1]:

$$ds^2 = - (\Delta / \rho^2) [dt - a \sin^2 \theta d\phi]^2 + (\sin^2 \theta / \rho^2) [(r^2 + a^2) d\phi - a dt]^2 + (\rho^2 / \Delta) dr^2 + \rho^2 d\theta^2, \quad (1)$$

$$\Delta = r^2 - 2Mr + a^2 + Q^2, \quad \rho^2 = r^2 + a^2 \cos^2 \theta,$$

где M – полная масса черной дыры, Q – полный заряд черной дыры, a – угловой момент вращения на единицу массы.

Картером была доказана теорема о том, что черную дыру может характеризовать ограниченное число параметров, а именно, M , L – угловой момент вращения, т.е. параметры, которые входят в (1) [2]. Белые дыры, которые, как принято считать, получаются из модели черных дыр путем инверсии времени ($t \rightarrow -t$), описываются в общем случае той же метрикой (1) и характеризуются теми же параметрами. Белые дыры, хотя они менее известны и признаны по сравнению с черными дырами, также получили известную степень теоретической разработки и астрофизической интерпретации в заметном количестве работ [3].

Для различных черных и белых дыр (шварцшильдовских, керровских и пр.) и для всех других объектов с горизонтами событий был введен обобщающий термин "отон", который образован от сокращенного названия общей теории относительности (ОТО) [4].

В работах [5,6] была развита систематика отонов и систем отсчета в расширенных пространственно-временных многообразиях (ПВМ), учитывающая особый характер различных областей в расширенном ПВМ [7]. Множество отонных объектов получает свою астрофизическую интерпретацию в концепции отонных миров [8].

В настоящей статье развивается представление о множестве отонных миров с использованием систематики отонов и систем отсчета, дается корректное определение отонных миров и выявляется их наблюдательный статус.

2. Систематика отонов и систем отсчета в расширенном ПВМ: множество отонных миров

Глобальные параметры в (1) и временной параметр – T , введенный для различения черных и белых дыр, дает возможность компактно записать символ отона [5]:

Анализ параметров релятивистских объектов в рамках расширенной теории относительности (РТО) [9], также как и в расширенных ПВМ говорит о четырех качественно различных значениях параметров отонов [5]: (o) — означает отсутствие какой-либо физической величины, связанной с данным параметром, (+) — присутствие, (i) — нахождение под горизонтом событий или в суперлюминальной системе отсчета, (-) — нахождение в дважды суперлюминальной (инвертированной) системе отсчета. С учетом этого, например, "вечная" шварцшильдовская черная дыра будет обозначаться следующим образом — O(+ooo), шварцшильдовская белая дыра — O(+oo-) или O(-oo-), тахионная шварцшильдовская черная дыра — керровская черная дыра — O(+o++) или O(+o+) и т.д. Общее число подобных комбинаций параметров определяется числом размещений с повторениями $N^n = 4^4 = 256$, а значит таково в данном случае допустимое число различных типов отонов.

Данная систематика значительно расширяет многообразие отонов, среди которых далеко не все имеют астрофизическую интерпретацию. Кроме брадионных отонов отметим следующие классы объектов: сингулярные (нулевые, бесконечные), тахионные отоны, антиотоны, тахионные антиотоны.

Нулевые отоны (замкнутые миры) получаются путем простого перехода к нулевым значениям параметров:

$$M \rightarrow 0, \quad Q \rightarrow 0, \quad L \rightarrow 0, \quad T \rightarrow 0. \quad (3)$$

Тахионные отоны /O_i(MQLT)/ получают при замене действительных значений глобальных параметров на мнимые:

$$M \rightarrow iM, \quad Q \rightarrow iQ, \quad L \rightarrow iL, \quad T \rightarrow iT. \quad (4)$$

Антиотоны /O₋(MQLT)/ в рассматриваемой систематике вводятся аналогично античастицам в РТО [9] путем инверсии параметров

$$M \rightarrow -M, \quad Q \rightarrow -Q, \quad L \rightarrow -L, \quad T \rightarrow -T. \quad (5)$$

Тахионные антиотоны / $O-i(MQLT)$ / вводятся соответственно следующим образом:

$$M \rightarrow -iM, \quad Q \rightarrow -iQ, \quad L \rightarrow -iL, \quad T \rightarrow -iT. \quad (6)$$

Как видно из отонного символа (2), три последних индекса обозначают параметры отона (объекта), связанные с дискретными симметриями: Q - C (зарядовое сопряжение), L - P (пространственная инверсия), T - T (инверсия времени). Но для того, чтобы получить антиотон (антиобъект), полностью симметричный относительно отона (объекта), согласно выражению (5), необходимо произвести не только СРТ-инверсию, но и M -инверсию. Таким образом, антиотон аналогично античастицам в РТО [9] получается при МСРТ-инверсии исходного объекта. Все это говорит о более глубокой симметрии, связанной с МСРТ-инвариантностью.

Отметим, что рассматриваемая систематика отонов и выводы следующие из нее, справедливы и для более широкого, но аналогичного многообразия объектов (например, частиц) РТО: брадионов, тахионов, локсонов, антибрадионов, антитахионов. Кроме того, заметим, что отоны в определенных системах отсчета (а именно, сопутствующих) могут являться объектами, подобными нашей Метагалактике (отонный мир) [8], т.е. систематика предсказывает соответственно и множество моделей отонных миров (метагалактик).

Взаимопереходы между различными классами объектов систематики отонов можно осуществить двумя способами: либо выбором системы отсчета, либо движением через особые поверхности в расширенном ПВМ [5]. Вначале рассмотрим многообразие систем отсчета в расширенных ПВМ, что многократно увеличивает их число.

В РТО выбором системы отсчета определяется тип объекта: например, являясь тахионом в сублюминальной системе отсчета, тот же объект будет брадионом в суперлюминальной системе отсчета [9]. При рассмотрении расширенных ПВМ возникает необходимость различать системы отсчета по их положению относительно множества особенных поверхностей (горизонтов

событий) [6]. Мало сказать, что имеется какой-либо отон (объект), необходимо также указать и систему отсчета, относительно которой он определяется. В противном случае понятие отона становится неопределенным, ибо в разных системах отсчета это будут различные объекты.

Рассмотрим системы отсчета, характеризующиеся лишь четырьмя параметрами: R - положением в определенной области ПВМ, v - скоростью, A - ускорением, L - угловой скоростью. Обозначим систему отсчета символом:

$$C(RVAL). \quad (7)$$

Исходная (собственная) система отсчета, относительно которой определяются все остальные $C()$, имеет нулевые параметры и обозначается - $C(0000)$ или $C(0)$. Качественное различие $C()$ по какому-либо параметру вводится числом особых поверхностей (горизонтов событий, световых барьеров), отделяющих рассматриваемую $C()$ от $C(0)$, следующим образом:

$$P(C) = i^N \quad (8)$$

где N общее число горизонтов событий и световых барьеров.

В случае шварцшильдовского ПВМ нахождение $C()$ в различных областях будет выражаться через параметр $P(C)$ (смотри Рис. I) в соответствии с (8) следующим образом: I ($i^0 = +1$); II ($i^1 = i$); III ($i^2 = -1$); IV ($i^3 = -i$).

Так как подгоризонтальная $C()$ эквивалентна суперлюминальной $C()$, то для параметра V , а также для At , LR , можно ввести аналогичные качественные различия: $+$, i , 0 , $-i$, $-$. Общее число возможных различных систем отсчета определится $N^n = 4^4 = 256$. Это число говорит о необходимости введения общей символики для систем отсчета, которая дала бы возможность не только кратко записать все множество $C()$ в расширенных ПВМ, но и проанализировать его. И более того, установить взаимосвязь между $O()$ и $C()$.

С учетом (7) отон (объект) в общем случае можно записать в виде:

$$O(MQLT) [C(RVAL)]. \quad (9)$$

Принцип дуальности в ОТО [10], означающий, на наш взгляд, то, что некоторый тип отона или объекта (тахин, антиобъект и пр.) в эквивалентной ему системе (соответственно: тахионная, инвертированная и пр.) будет брадионным отоном (брадионом), можно записать в форме:

$$O(M'Q'L'T') [C(R'V'A'L')] \approx O(MQLT) [C(RVAL)] . \quad (10)$$

Следующее выражение означает возможность выбором системы отсчета менять тип объекта (отона):

$$O(MQLT) [C(R'V'A'L')] \approx O(M'Q'L'T') [C(RVAL)] . \quad (10a)$$

Рассмотрим случай инерциальных систем отсчета - $C(RV)$. Тогда общее число $C()$ ограничится величиной $N^n = 4^2 = 16$. Между различными $C()$ имеются определенные взаимосвязи. Рассмотрим некоторые из них.

$$C(11) \approx C(+-) \approx C(-+) . \quad (11)$$

Это выражение означает эквивалентность подгоризонтальной, суперлюминальной $C()$ и инвертированной $C()$. С помощью символики можно обнаружить и множество других подобных взаимосвязей, которые без ее использования не видны в явной форме. В общем случае эквивалентность $C()$ определяется из равенства произведений их параметров

$$C() \approx C'() \quad \text{при} \quad (RV) = (R'V') . \quad (12)$$

Выражение

$$C(1+) \approx C(+1) \quad (13)$$

определяет эквивалентность подгоризонтальной и суперлюминальной $C()$. Можно заключить, что (11) и (13) показывают свойство коммутативности $C()$.

Рассмотрим некоторые соотношения, связывающие отоны (объекты) и системы отсчета.

$$O() [C(++)] = O() [C(1+)] = O_1() [C(++)] . \quad (14)$$

Выражение (14) означает, что отон под горизонтом событий или в суперлюминальной $C()$ представляется тахионным в надгоризонтальной сублюминальной $C(++)$. Это же показывает ассоциативность $O()$ и $C()$, объектов и систем отсчета.

Рассмотрим еще одно выражение:

$$o() [c(-+)] = o() [c(+)] = o() [c(ii)] = o(-) [c(++)] . \quad (15)$$

Выражение (15) означает, что отон (объект, частица), находящийся в инвертированной $C(-+)$, или в дважды тахионной $C(+)$, или в подгоризонтальной суперлюминальной $C(ii)$, относительно $C(o)$ является антиотомом (антиобъектом, античастицей). Таким образом, произведение значений параметров $C()$ определяет тип объекта, а символ системы отсчета представляет собой некоторый оператор, переводящий один тип объекта в другой, в частности, частицу в античастицу. Этот оператор \hat{C} для $C(RV)$ можно представить следующим образом:

$$(\hat{C}o) = \begin{matrix} N \\ o \end{matrix} i (MQLT) . \quad (16)$$

где $N = N_o = N_r + N_v$,

N_r - число горизонтов событий между $C(o)$ и $C(RV)$,

N_v - число, разделяющих $C(o)$ и $C(RV)$, световых барьеров.

Итак, как показывает проведенный анализ и выражения (14 - 16), выбором системы отсчета можно изменить тип объекта, перейти, например, от брадионов к тахионам, от частиц к античастицам. Но подобный переход является дискретным, а выражение (16) представляет собой квантовую операцию. И, если мы хотим ввести в физическую теорию возможность перехода от брадиона к тахиону (или от частицы к античастице), то это можно сделать двумя способами. Во-первых, можно допустить возможность дискретного перехода через особые (псевдосингулярные) поверхности, что может реализоваться в квантовой теории и что, собственно, тривиально. Во-вторых, эти взаимопревращения (брадион \rightleftharpoons тахион \rightleftharpoons антибрадион \rightleftharpoons антитахион) возможны в расширенных ПММ ОТО, которая допускает непрерывный переход через особые поверхности (горизонты событий, световые барьеры) [5 - 7] в ускоренных системах отсчета.

В шварцшильдовском ПММ эти переходы ограничены двумя обстоятель-

обстоятельствами (см. Рис. 1): наличием пространственноподобной сингулярности ($r = 0$); пространственноподобным характером геодезических, ведущих из области I в III и обратно; ограниченным количеством областей, разделенных горизонтами событий. Эти трудности снимаются для расширенного керровского ПВМ [11, 12, 13, 14]. Как видно из Рис. 2, керровское ПВМ содержит неограниченное количество областей, разделенных горизонтами, движение через которые возможно по разрешенным времениподобным геодезическим. Следовательно, N в (16) может меняться в широких пределах $0 < N < \infty$, что означает возможность переходов типа: брадион \rightleftharpoons тахион \rightleftharpoons антибрадион \rightleftharpoons антитахион. Напомним, что все эти объекты, согласно принципу дуальности в теории относительности (10), являются одним и тем же объектом, но отделенными от $C(0)$ различным количеством особых поверхностей (16). Поэтому говорить о возможности подобных переходов можно лишь постольку, поскольку реальны эти области.

Рассмотрим детальней диаграмму Пенроуза для расширенного вдоль оси симметрии керровского ПВМ (Рис. 2). Заметим, что для каждой $C()$ соответствует своя область ПВМ, отделенная от других горизонтами (своя карта атласа многообразия, своя координатная сетка, покрывающая многообразие). Обозначим отдельную область ПВМ — $M_{()}$. Из вышесказанного следует, что к $M_{()}$ применимы выражения (8–16). В соответствии с (8) и особенностями диаграммы (наличие областей с кольцевой сингулярностью) можно выделить шесть различных $M_{()}$, являющихся элементами полного керровского ПВМ.

1. $M_{(+)}$ — исходная область, с которой начинается построение расширенного ПВМ. $N = 0$, $P(M) = (i)^0 = 1$.
2. $M_{(i)}$ — область между внешним (r_+) и внутренним (r_-) горизонтами черной дыры. $N = 1$, $P(M) = (i)^1 = +1$.
3. $M_{(-)}$ — область противоположная $M_{(+)}$, движение в которую возможно лишь по пространственноподобным геодезическим. $N = 2$, $P(M) = (i)^2 = -1$.

4. $M_{(-)}$ - отрицательная область с левосторонней кольцевой сингулярностью. $N = 2$, $P(M) = (i)^2 = -1$.
5. $M_{(-)}$ - отрицательная область с правосторонней кольцевой сингулярностью. $N = 2$, $P(M) = (i)^2 = -1$.
6. $M(i)$ - область между внешним и внутренним горизонтами событий белой дыры. $N = 3$, $P(M) = (i)^3 = -i$.

Из этих шести элементов на диаграмме Пенроуза можно составить трафаретный рисунок. Исходный трафарет можно выбрать произвольно, а любой трафаретный рисунок можно обозначить следующим образом:

$$M_{(+, i, \dots, -i)}^k \quad \text{или сокращенно} \quad M_{()}^k \quad (T7)$$

k - номер трафарета.

Теперь любую область полного керровского многообразия можно обозначить общим символом:

$$M_{(P)}^k \quad (T8)$$

Так как k является неограниченным, то и областей типа $M_{(+)}$ может быть неограниченно много. Каждая такая область может представлять собой самостоятельный мир, подобный нашей Метагалактике. Правда, необходимо учесть, что каждая $M_{(+)}$ должна представлять при такой интерпретации не асимптотически плоское пространство-время, а искривленный (сферический или псевдосферический) мир Фридмана, имеющий "дыры". В псевдосферическом случае учет этого обстоятельства вряд ли изменит глобальную структуру керровского ПМ. Сферический случай же, связанный с эпохой "Большого треска", требует особого анализа.

Учитывая, что в нашей Метагалактике может существовать множество черных дыр, можно сделать вывод о впечатляющем многообразии миров, связанных между собой через кротовые норы (отоны). Эти миры были названы отонными [8]. Можно дать такое определение: отонным миром называется самостоятельное ПМ, с находящейся в ней материей и ограниченное космологическим горизонтом и горизонтами событий черных дыр. Сейчас идея

множественности миров, подобных нашей Метагалактике, довольно популярна, а наиболее известные разработки в этом направлении связаны с антропным принципом [15] и сценарием "раздувающейся Вселенной" [16]. В отличие от других представлений идея множественности отонных миров сразу связывалась с возможностью астрофизической наблюдательной проверки [8,5], так как в ней допускались взаимопревращения объектов в расширенных ПМ и переходы черных дыр в одном ПМ в белые в другом.

3. Взаимпревращения объектов в расширенных ПМ :

белые и серые дыры как проявление отонных миров

Сразу же отметим, что на возможную астрофизическую реальность белых дыр впервые было указано в рамках гипотезы "задержавшихся ядер" И.Д.Новиковым [17] и позднее Нееманом [18] и дальнейшее обсуждение идеи белых дыр [19-20] проводилось на основе этих представлений. Альтернативная модель белых дыр, прямо следующая из рассмотрения расширенных ПМ ОТО (см. Рис. 2) в аспекте их астрофизической реальности рассматривалась разве что в концепции отонных миров [8]. Это же касается и серых дыр.

Отонные белые и серые дыры в ПМ нашей Метагалактики $M_{(+)}^0$ образуются в процессе коллапс-антиколлапс из материи черной дыры (см. Рис. 2) в $M_{(+)}^{-1}$ (в принципе, возможно, и из любого $M_{(+)}^{-k}$) путем последовательного перехода через области $M_{(i)}^{-1}$ (коллапс), $M_{(-)}^{-1}$ (переход коллапса в антиколлапс), $M_{(-i)}^{-1}$ (антиколлапс). Аналогично черная дыра в $M_{(0)}^0$ может перейти в белую в $M_{(+)}^{+1}$, а также в любом последующем $M_{(+)}^k$ в случае осциллирующего коллапса.

Из диаграммы Пенроуза видно, что астрофизические объекты по соотношению их характерных размеров l к их гравитационному радиусу r_g можно разбить на 4 группы.

1. $l \gg r_g$ классические (нерелятивистские) астрофизические объекты. Их материя находится в $M_{(+)}^k$ вдали от возможного горизонта, в квазиевклидовой области ПМ.

2. $l > r_g$ - черные дыры, материя которых находится вблизи горизонта и в сопутствующей $S()$ движется из $M_{(+)}$ в $M_{(i)}$.
3. $l < r_g$ - белые дыры, материя которых находится под горизонтом событий и в сопутствующей $S()$ движется из $M_{(-)}$ в $M_{(+)}$.
4. $l \ll r_g$ - серые дыры, материя которых, не выходя из-под горизонта событий, вновь коллапсирует. Они могут себя проявлять за счет гравитационного поля, остающейся в $M_{(+)}$ дыры, и очень короткое время ($t \ll r_g/c$) за счет идущего от них излучения.

Белые и серые дыры в расширенных ПВМ ОТО являются еще одной физической конкретизацией идеи сверхплотных Д-тел Амбарцумяна [21]. В отличие от модели "задержавшихся ядер", которые описываются шварцшильдовской метрикой, модели отонных белых и серых дыр должны строиться на основе точного решения Керра.

Наблюдательным подтверждением реальности различных областей керровского ПВМ, т.е. множества отонных миров было бы обнаружение белых и серых дыр. Прежде всего отметим, что основные черты белых дыр как в рамках гипотезы "задержавшихся ядер", так и в концепции отонных миров сходны (локализация в малых пространственных областях, скоротечность, громадные энерговыделения и др.). Следовательно, космические феномены, которые связывались с "задержавшимися ядрами", можно интерпретировать как проявление отонных белых дыр. Это, во-первых, квазары и активные ядра галактик [17,18], затем это кратковременные рентгеновские источники, фон рентгеновских лучей, гамма-всплески, космические лучи сверхвысоких энергий [19,20]. Кроме того, различные космические феномены, которые используются в бюраканской космогонической концепции в качестве аргументов в пользу взрывающихся сверхплотных Д-тел, также могут быть интерпретированы в качестве отонных белых и серых дыр. Затем ряд аргументов был предложен в рамках концепции отонных миров [5,8]: гамма-всплески как вспышки керровских серых дыр, пустоты во Вселенной как остатки белых дыр, серые дыры в качестве "скрытой массы" Вселенной, необходимые для образования наблюдаемой структуры Метагалактики пер-

вичные неоднородности как отоны из других ПМ и др.

Таким образом, идея множественности миров может получить свое эмпирическое обоснование через наблюдение белых и серых дыр, образующихся в результате взаимопревращений релятивистских объектов в расширенных ПМ. Детальное исследование этого вопроса будет проведено автором в дальнейших работах.

В заключение автор благодарит проф. Г.М.Идлиса и В.С.Гурина за обсуждение затронутых в работе вопросов.

SYSTEMATICS OF RELATIVISTIC OBJECTS WITH EVENT
HORIZONS (OTONS) AND VARIETY OF OTONIC WORLDS

A.P.Trofimenko

Astronomical Section of Minsk Department of the
Astronomical-Geodesical Society of the USSR,
Abonent Box No. 7, Minsk-12, 220012, USSR

A variety of relativistic objects (otons) and reference frames in extended space-time manifolds of general relativity is considered and systematized. Occurrence of independent space-time regions in extended manifolds is interpreted as the variety of otonic worlds. Possible intertransitions of relativistic objects are analysed in the manifold with the Kerr-Newman metric. Flashes of radiation from white and grey holes (otons) are treated as an appearance of otonic worlds.

Литература

1. Ч.Мизнер, К.Торн, Дж.Уилер, Гравитация, том 3, Москва, Мир, 1977.
2. B. Carter, *Phys. Rev. Lett.*, 26, 331, 1972.
3. A.P. Trofimenko and V.S. Gurin, *Gen. Relat. and Gravit.*, 18, 53, 1986.
4. Я.Б.Зельдович и И.Д.Новиков, Теория тяготения и эволюция звезд, Москва, Наука, 1971.
5. А.П.Трофименко, Генезис и современные проблемы астрофизики отонов. Депонировано в ИНИОН АН СССР № 16810, 1984.
6. А.П.Трофименко и В.С. Гурин, Систематика отонов. Депонировано в ИНИОН АН СССР № 21353, 1985.
7. V.S. Gurin and A.P. Trofimenko, *Fizika*, 17, 101, 1985; *Acta Physica Hungarica*, 59, 371, 1986.
8. А.П.Трофименко, Принцип развития в астрофизике. Депонировано в ИНИОН АН СССР № 2027, 1978; Вселенная и развитие, Минск, Наука и техника, 1982.
9. Э. Реками, в книге: Астрофизика, кванты и теория относительности, Москва, Мир, гл. 4. 1982.
11. B. Carter, *Phys. Rev.*, 141, 1242, 1966.
12. R.H. Boyer and R.W. Linquist, *J. Math. Phys.*, 8, 265, 1967.
13. С.Хокинг и Дж. Эллис, Крупномасштабная структура пространства-времени, Москва, Мир, 1977.
14. С. Чандрасекар, Математическая теория черных дыр, часть 2. Москва, Мир, 1986.
15. Б.Картер, в книге: Космология. Теория и наблюдения, Москва, Мир, 1978.
16. A.D. Linde, *Repts Progr. Phys.*, 47, 925, 1984.
17. И.Д.Новиков, *Астрон. ж.*, 41, 1075, 1964.
18. Y. Ne'eman, *Astrophys. J.*, 141, 1303, 1965.
19. J.V. Narliakr and K.M.V. Apporao, *Astrophys. and Space Sci.*, 35, 321, 1975.
20. J.V. Narlikar and R.C. Karoor, *Astrophys. and Space Sci.*, 52, 155, 1978.
21. В.А.Амбарцумян, Научные труды в двух томах, т.2, Ереван, АН АрмССР, 1960.

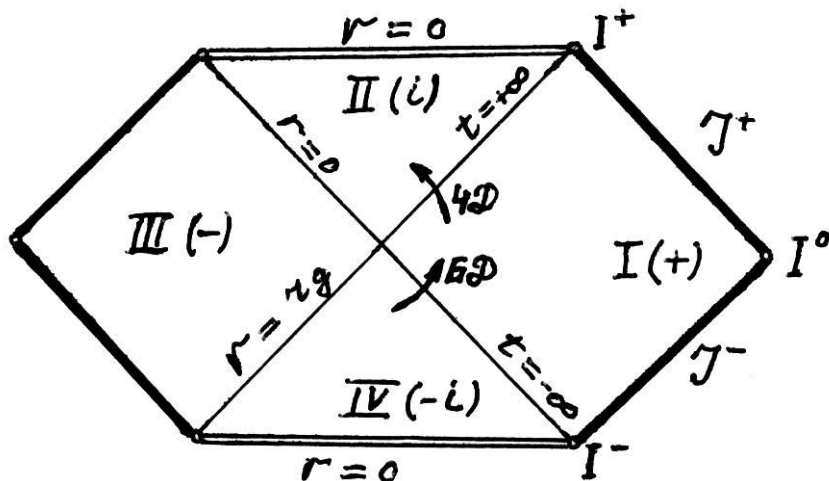


Рис. 1. Диаграмма Пенроуза для расширенного шварцшильдовского ПВМ. Двойные линии ($r = 0$) означают мировые линии сингулярностей. Тонкие линии ($r = r_g$) означают горизонты событий. Жирные линии и точки, ограничивающие справа и слева диаграмму, связаны с бесконечностями пространства-времени: I^+ , I^- , I^0 , J^+ , J^- (смотри подробнее [1]).

Четыре области ПВМ: $I(+)$, $II(i)$, $III(-)$, $IV(-i)$ отделены от $S(0)$ различным количеством горизонтов событий (0, 1, 2, 3).

ЧД - черная дыра, коллапсирующая материя которой движется из области $I(+)$ в $II(i)$, но в $S(0)$ наблюдаемо движение только в области $r > r_g$.

БД - белая дыра, антиколлапсирующая материя которой движется из области $IV(-i)$ в область $I(+)$.

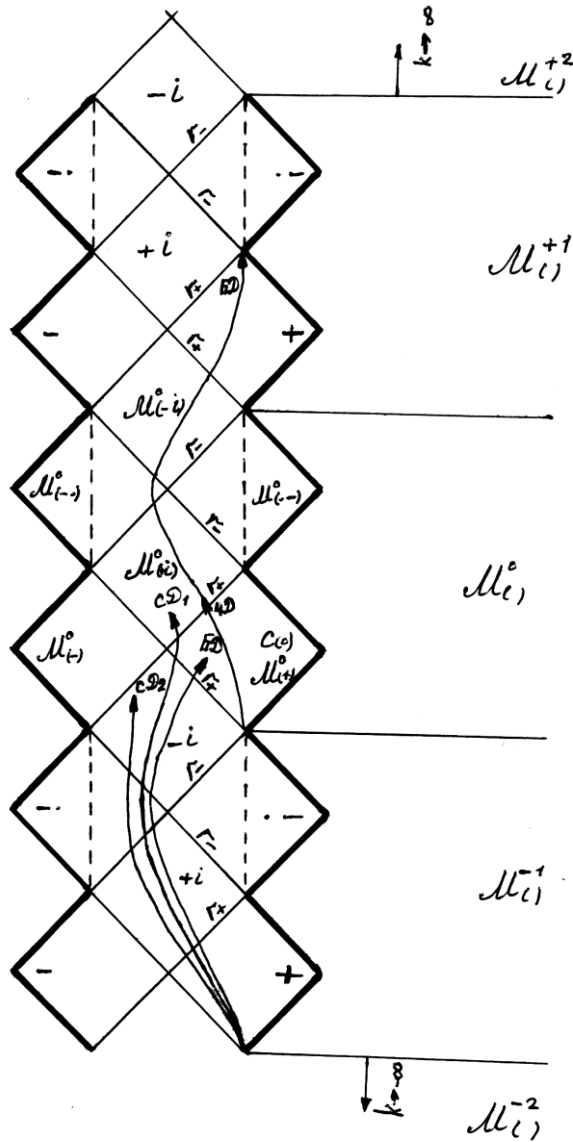


Рис. 2. Диаграмма Пенроуза для расширенного вдоль оси симметрии керровского ПВМ. Пунктирная линия обозначает кольцевую сингулярность. $r_+ = M + (M^2 - a^2)^{1/2}$ и $r_- = M - (M^2 - a^2)^{1/2}$ означают соответственно внешний и внутренний горизонты событий. Трафаретный рисунок, включающий области $M_{(+)}$, $M_{(-)}$, $M_{(i)}$, $M_{(o)}$, $M_{(c)}$, $M_{(s)}$, $M_{(t)}$, $M_{(l)}$, $M_{(r)}$, $M_{(g)}$, $M_{(h)}$, $M_{(k)}$, $M_{(m)}$, $M_{(n)}$, $M_{(p)}$, $M_{(q)}$, $M_{(r)}$, $M_{(s)}$, $M_{(t)}$, $M_{(u)}$, $M_{(v)}$, $M_{(w)}$, $M_{(x)}$, $M_{(y)}$, $M_{(z)}$, повторяется неограниченно в обе стороны. При $k \rightarrow \infty$ получаем полное керровское ПВМ. БД - белая дыра в области $M_{(+)}$ образуется из материя черной дыры из области $M_{(+)}$ или из любой другой $M_{(+)}$. ЧД - черная дыра. СД₁ - серые дыры первого рода, подобно черным дырам для $C(o)$ $l > r_g$ СД₂ - серые дыры второго рода и для $C(o)$ $l < r_g$ и даже $l \ll r_g$. В отличие от других отонов могут иметь исключительно малое время своего наблюдательного проявления. $t \ll r_g/c$.