

БИБЛИОГРАФИЯ

## Физика черных дыр

В сообщении "От редакционной коллегии", открывавшем УФН № 1 за 1999 год, отмечено, что иностранные книги мы будем рецензировать "лишь в тех случаях, когда их содержание тесно связано с развитием физики в России". К этому можно было бы добавить и рецензии на книги, изданные за пределами России, причем не на русском языке, но принадлежащие советским и российским авторам. В настоящее время, к сожалению, издание таких книг на русском языке, даже если они этого вполне заслуживают, обычно весьма затруднительно по чисто техническим причинам. Примером такой книги является рецензируемая монография В.П. Фролова и И.Д. Новикова. Перевести и издать этот фундаментальный труд на русском языке — явно непосильная задача. Поэтому мы и помещаем соответствующую подробную рецензию. Кстати, авторы книги отнюдь не порвали с Россией и российской наукой. В частности, они сейчас пишут обзор для УФН.

Редакционная коллегия

PACS numbers: 01.30.Vv, 01.30.Ee, **04.70.-s**, 97.60.Lf

**V.P. Frolov, I.D. Novikov** *Black Hole Physics: Basic Concepts and New Developments* (Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic Publishers, 1998) 770 pp.

"... и откуда берутся такие возможности, если у нас только — дыры?!"

Петер Вайс "Преследование и убийство Жан-Поль Марата" (Эпиграф к русскому изданию книги "Физика черных дыр" [1])

"I'm trying to understand...  
the black hole in the sky.

Why?...

It's another time,

It's another space..."

A. Monn, A. Lear "Black holes"

В конце 1998 года вышла в свет книга выдающихся физиков, наших соотечественников, работающих в настоящее время за рубежом, В.П. Фролова и И.Д. Новикова "Физика черных дыр". Имена этих ученых не нуждаются в представлении. Несомненно, они являются гордостью отечественной науки. В настоящее время В.П. Фролов — профессор Альбертского университета (Эдмонтон, Канада), а И.Д. Новиков — директор Центра теоретической астрофизики в Копенгагене. Возможно, в иных обстоятельствах описание вклада авторов книги в отечественную науку было бы и излишним, однако в настоящее время в России выросло целое поколение студентов и аспирантов, которые, к сожалению, не видели и не слышали ни лекций, ни выступлений на семинарах авторов рецензируемой книги, и до научной молодежи хотелось бы донести мнение, возниквшее у слушателей лекций и участников научных семинаров 10–20 лет назад.

Конечно, описать влияние яркой личности при живом непосредственном общении столь же трудно, как и описать словами вкус, цвет, запах или звук. Однако подобно тому, как черная дыра проявляется по изменению свойств окружающей ее среды, так и доклады и лекции авторов книги изменяли состояние слушателей,

находящихся в аудитории, вызывая живой интерес к обсуждаемой тематике. Лично я благодарен судьбе за то, что она дала возможность обсуждать проблематику черных дыр с В.П. Фроловым, И.Д. Новиковым и Дж. Уилером. Нет сомнения, что в нашей стране не было более квалифицированного и эрудированного специалиста в области теории черных дыр, термодинамики черных дыр и квантовых процессов в окрестности черных дыр, чем В.П. Фролов, и более глубокого эксперта по построению релятивистских моделей в астрофизике, чем И.Д. Новиков. Хотелось бы отметить, что И.Д. Новиков — блестящий создатель новых идей, концепций и понятий (так, например, термин "релятивистская астрофизика" появился впервые как название обзора в УФН в 1964 году [2] и книги, написанных совместно с Я.Б. Зельдовичем [3], а насколько важно выбрать удачное название для физического понятия видно по тому влиянию, которое оказали на развитие науки, да и общества в целом, такие понятия, как "скрытое вещество", "Большой Взрыв", "инфляционная модель" и, конечно, "черная дыра").

Три книги по релятивистской астрофизике [3–5] заложили фундамент этого раздела науки и стали основой дальнейших исследований не только в нашей стране, но и за рубежом, поскольку вскоре после выхода в свет русских изданий появились и их английские переводы. Насколько необыкновенен и значителен вклад И.Д. Новикова в современную науку, можно понять и по названию одного из докладов на юбилейной конференции в Копенгагене, посвященной его 60-летию, NORA (Non-Ordinary Relativistic Astrophysics), т.е. необыкновенная релятивистская астрофизика. Заметим, что название доклада (случайно, а может, и неслучайно) совпадает с именем супруги И.Д. Новикова.

Развитие физики черных дыр можно, по-видимому, разбить на следующие этапы.

Доисторический период, начинающийся от обсуждения Мичеллом (отметим, что именно Мичеллу отправил

письмо Кавендиш с первым выводом величины угла отклонения луча света в гравитационном поле, что по существу и заложило основы теории гравитационных линз) и Лапласом в конце XVIII века самой идеи существования подобных объектов в ньютоновской теории гравитации и заканчивающийся опубликованием в 1916 году решения Шварцшильда уравнений Эйнштейна.

Период древней истории, начинающийся с 1916 года и заканчивающийся 29 декабря 1967 г., когда Дж. Уилер в лекции, прочитанной в нью-йоркском отеле "Хилтон", впервые использовал термин "черная дыра" (в конце этого периода в 1963 г. австралийский математик Р.П. Керр получил решение уравнений Эйнштейна в вакууме, которое описывает врачающуюся черную дыру).

С лекции Уилера начинается период новой истории — период "юности" этой новой области физики (по словам авторов книги, "героический период развития физики черных дыр"), который характеризуется бурным ростом исследований и заканчивается выходом в свет в 1986 году первого издания монографии И.Д. Новикова и В.П. Фролова "Физика черных дыр" [1] (заметим, что в 1986 году в нашей стране были опубликованы также содержательная монография Д.В. Гальцова [6], оригинальное английское издание коллективной монографии, содержащей изложение мембранный парадигмы в физике черных дыр, К. Торна, Р. Прайса и Д. Макдональда [7], переведенной на русский язык в 1988 г., и русский перевод замечательной монографии С. Чандraseкара [8], опубликованной на английском языке в 1983 году).

Период новейшей истории, начинающийся с 1986 года и продолжающийся по настоящее время, характеризуется тем, что за этот период достигнут гигантский прогресс в исследовании теоретических и математических аспектов теории черных дыр. Но главное — в нескольких двойных звездных системах найдены компактные объекты, которые, как утверждают авторы книги, "почти на сто процентов должны быть черными дырами". Кроме того, интенсивные исследования ядер активных галактик, проводимые в различных спектральных диапазонах, приводят к необходимости существования сверхмассивных черных дыр с массами в несколько миллионов солнечных масс.

Анализируя более чем тридцатилетнюю историю термина "черная дыра", можно сделать вывод, что это понятие и явилось той новой парадигмой, которая и способствовала интенсивному развитию этой области науки. Если мы сравним это понятие с такими используемыми ранее понятиями, как "застывшая звезда" или "коллапсар", то становится ясным, насколько их использование может ограничить исследование черных дыр. Так, например, становится затруднительным исследовать физические процессы в окрестности горизонта, более того, невозможно даже сформулировать утверждения относительно физических процессов внутри черных дыр.

Если привести математическую аналогию, то можно говорить о том, что использование понятия "черная дыра", а не "коллапсар", подобно рассмотрению актуальной бесконечности вместо расходящейся последовательности (или актуальной бесконечно малой величины вместо сходящейся к нулю последовательности). Подобные математические понятия (бесконечно больших и

бесконечно малых величин), ранее используемые такими классиками науки, как Лейбниц и Эйлер, были введены вновь в математике несколько десятков лет назад на необходимом уровне строгости и стали основой так называемого нестандартного математического анализа, в котором многие проведенные с использованием бесконечно больших (и бесконечно малых) величин и счиавшиеся ранее недостаточно строгими доказательства классиков теорем математического анализа, приобрели необходимую математическую строгость. Таким образом, понятие "бесконечно большой" ("бесконечно малой") величины является ключевой парадигмой в нестандартном анализе и позволяет по-новому взглянуть на "стандартный" математический анализ.

Подобно этой парадигме в анализе понятие "черная дыра" является одним из ключевых в релятивистской астрофизике. Но кроме того, что термин должен точно описывать существо рассматриваемого предмета, он должен обладать некоторой внутренней притягательной силой, которая привлекала бы к нему интерес широких слоев общества (наряду с черными дырами можно вспомнить такие понятия, как принцип относительности, скрытая масса, инфляционная модель и др.).

И действительно, черные дыры из предмета исследований исключительно специалистов по ОТО в конце 60-х годов (в то время, по словам авторов книги, астрономы были весьма далеки от рассмотрения проблематики, связанной с черными дырами, и даже дискуссии по таким проблемам не приветствовались в "приличном обществе") превратились в предмет будничных исследований астрономов и астрофизиков (для того, чтобы убедиться в этом, достаточно заглянуть в последние номера *Astrophysical Journal*, Астрономического журнала или библиотеку электронных препринтов). Термин "черная дыра" достаточно прочно укоренился и в общественном сознании, поэтому вряд ли можно привести пример другого астрономического понятия (и тем более понятия теории гравитации), которое было бы столь же хорошо известно даже в кругах весьма далеких от астрономии и теории гравитации.

Черная дыра, по-видимому, наиболее совершенный объект в природе, поскольку она характеризуется только тремя числами: массой, моментом количества движения и зарядом. Уилер высказал это утверждение в виде гипотезы: "Черные дыры не имеют волос". В последующем это утверждение было доказано для стационарных дыр, т.е. в общем случае стационарная черная дыра описывается метрикой Керра — Ньюмена. Поскольку считается, что даже в том случае, если первоначально образовавшаяся черная дыра и не была равновесной, она избавляется от всех характеристик, от которых можно избавиться путем излучения и становится, таким образом, стационарной. То есть стационарные черные дыры — это в большой степени общий случай черных дыр, и тем самым, утверждение Уилера в большой степени приложимо ко всем черным дырам.

Рецензируемая книга, по словам ее авторов, дает читателю введение в физику черных дыр и описание методов, которые при этом используются. Основное внимание удалено вопросам, ответы на которые получены относительно недавно, и потому они недостаточно полным образом отражены в других книгах и обзорах. Достаточно стандартные вопросы, представленные в других опубликованных ранее книгах и обзорах, изло-

жены довольно кратко. Книга адресована широкому кругу физиков и астрофизиков, которые не имеют специальных знаний в области физики черных дыр.

Основной акцент сделан на объяснении физической сущности рассматриваемых эффектов, и только после этого изложен математический аппарат, используемый для их исследования. Кроме того, авторы отмечают, что они сознательно избегали излишней сложности в формулировках и доказательствах теорем о черных дырах. Достаточно часто вместо полного доказательства дается только основная идея, затем приводятся основные этапы доказательства и ссылки на оригинальные работы, где можно найти все необходимые детали.

В этом плане рецензируемая книга кардинальным образом отличается от монографии С. Чандрасекара [8], где приводятся полные доказательства утверждений, рассматриваемых в книге (для полного понимания которых читателью, тем не менее, порой необходимо вставить между двумя строчками книги Чандрасекара десяток-другой своих строк). Поэтому книга Чандрасекара является примером наиболее замкнутого изложения теории черных дыр, а рецензируемая книга — наиболее полного. Следует обратить внимание и на то, что название книги Чандрасекара "Математическая теория...", а рецензируемой книги "Физика...", и благодаря этому понять, какой акцент делается авторами этих двух замечательных книг.

Поскольку период после выхода в свет первого издания "Физики черных дыр" в 1986 году может быть охарактеризован как период "бури и натиска", в результате чего был достигнут гигантский прогресс в понимании черных дыр, поэтому рецензируемое (второе) издание отличается от первого отнюдь не только "косметическими" улучшениями. По существу, написана новая книга, более чем в два раза превышающая по объему первое издание и содержащая большое количество нового материала. Сохранена структура первого издания и большая часть материала. Однако в каждой главе имеются существенные добавления, появились и новые главы, так что книга дает подробное изложение современного состояния физики черных дыр.

Рецензируемая книга разбита на две части. Часть I "Основные понятия", в которой изложена "классическая теория черных дыр", содержит девять глав — введение: краткая история физики черных дыр; сферически-симметричные черные дыры; вращающиеся черные дыры; возмущения черных дыр; общие свойства черных дыр; стационарные черные дыры; физические эффекты в гравитационном поле черной дыры; электродинамика черных дыр; астрофизика черных дыр.

Часть II "Дальнейшее развитие теории", в которой рассматриваются более сложные конструкции, связанные с черными дырами, содержит семь глав: квантовое рождение частиц черными дырами; квантовая физика черных дыр; термодинамика черных дыр; черные дыры в объединенных теориях; внутренняя структура черных дыр; конечная судьба черных и белых дыр; черные дыры, кротовые норы и машины времени.

Большая часть технических деталей и громоздких соотношений вынесены в приложения, которых стало девять вместо одного в первоначальном издании книги, и общий объем приложений вырос с восьми страниц в первоначальном издании до почти 100 страниц в рецензируемой книге. Таким образом, приложения можно

рассматривать как отдельный справочник, содержащий основные соотношения теории относительности и черных дыр. В приложении А "Математические соотношения" имеются основные формулы римановой геометрии, и это приложение может рассматриваться как расширенный вариант приложения в первом издании книги. Кроме того, книга содержит следующие приложения: сферически симметричные пространственно-временные многообразия; система отсчета Риндлера в пространстве-времени Минковского; геометрия Керра–Ньютона; формализм Ньютона–Пенроуза; волновые поля в искривленном пространстве-времени; волновые поля в метрике Керра; квантовые поля в пространстве-времени Керра; квантовый осциллятор.

Каждая из глав новой книги стала существенно более обстоятельной и примерно в два раза более объемной, однако в целом сохранен общий план книги. Укажем некоторые структурные изменения, произведенные во втором издании.

Так, материал главы 3 "Волновые поля вокруг сферической черной дыры" в первом издании книги помещен в главу 4 "Возмущения черных дыр", которая дополнена следующими важными разделами, такими, как "Квазинормальные моды", "Волновые поля в окрестности вращающихся черных дыр", "Устойчивость черных дыр", "Гравитационные волны от двойных систем".

В первую часть рецензируемой книги добавлена новая глава 9 "Астрофизика черных дыр", которая, по-видимому, является одной из самых важных, поскольку содержание этой главы дает представление о том, что абстрактная теоретическая модель черной дыры превратилась в объект обычных астрофизических и даже астрономических исследований (читатель может получить представление о том, как много новых интересных результатов получено по этой тематике в последние годы, сравнив содержание этого раздела с более ранними обзорами [9, 10], имеющими такое же название, как и название главы 9 рецензируемой книги, а также с соответствующими главами монографии Шапиро и Тьюколски [11]). Эта глава, кроме введения, содержит следующие разделы: происхождение звездных черных дыр; звездные черные дыры в межзвездной среде; дисковая акреция на черные дыры; свидетельства о наличии черных дыр в двойных звездных системах; сверхмассивные черные дыры в галактических центрах; динамические свидетельства наличия черных дыр в галактических ядрах; первичные черные дыры; черные дыры и гравитационно-волновая астрономия.

Коснемся вкратце содержимого этих разделов. Так, в разделе "Происхождение звездных черных дыр" приводятся самые последние теоретические оценки максимального значения массы нейтронной звезды  $(2-3) \times M_{\odot}$  (при отсутствии вращения), однако и с учетом вращения предельная масса не может быть больше, чем  $M_0 \approx 3M_{\odot}$ . Тем не менее приведенные в разделе "Свидетельства о наличии черных дыр в двойных звездных системах" оценки массы компактного компаньона для 10 приведенных двойных систем существенно превышают предельную величину массы нейтронной звезды, тем самым, делается вывод о наличии черных дыр в этих двойных системах. Аргументация в пользу существования черных дыр в этих системах могла бы быть еще более убедительной, если авторы книги привели бы не только

оценку для величины массы компактного объекта, но также и значения функции масс для этих двойных систем, которые имеются в недавнем обзоре А.М. Черепашука [12]. Напомним, что значение функции масс дает минимальное значение массы компактного компонента (независимо от отношения масс компонентов и угла наклонения орбиты) и для шести систем эта величина превышает величину  $3 \times M_{\odot}$ , а для трех систем она существенно выше, так, для систем GS 2023 + 338 (V404 Cyg), GS 2000 + 25(QZ Vul) и XN Oph 1977 значения функции масс равны соответственно 6,3; 5 и 4 солнечных масс [12]. В этом случае, если мы считаем, что ОТО правильно описывает сильное гравитационное поле, мы должны с неизбежностью заключить, что компактным объектом является черная дыра. Поэтому и авторы рецензируемой книги заключают по этому поводу, что "подобные объекты почти на сто процентов должны быть черными дырами".

В разделе "Динамические свидетельства существования черных дыр в галактических ядрах" рассматривается возможность существования черных дыр не только в ядрах активных галактик, но и в ядрах "нормальных" галактик, в том числе таких, как наша Галактика. Логика рассуждений в этом случае примерно такая же, как и в случае утверждения о наличии черных дыр звездной массы, т.е. мы говорим о наличии черной дыры в том случае, если имеется доказательство наличия достаточно большого количества скрытой массы в небольшом объеме, так что этот объект не может быть чем-либо отличным от черной дыры. Подобное доказательство о наличии сверхмассивных черных дыр основано на изучении звездной кинематики и фотометрии галактических ядер. На основе этих данных приводится значение массы черной дыры в нашей Галактике, равное  $3 \times 10^6 M_{\odot}$ , для галактики M87 —  $2,4 \times 10^9 M_{\odot}$ , а для галактик NGC 4594 и NGC 3115 —  $10^9 M_{\odot}$ . Подробное описание наблюдательных признаков галактических черных дыр и соответствующих теоретических моделей приведено в обзоре Лианга [13], где обсуждены также трудности интерпретации некоторых наблюдательных данных. Популярное изложение последних результатов наблюдений, связанных с поисками черных дыр, приведено в интересной статье Блэнфорда и Герелса [14]. Заключает главу 9 раздел "Черные дыры и гравитационно-волновая астрономия", написанный совместно с Н. Андерссоном. Этот раздел также представляется весьма важным и интересным и остается только сожалеть, что он составляет всего-навсего четыре страницы, поскольку в самом начале следующего тысячелетия начнут работать крупные гравитационно-волновые детекторы — лазерные интерферометры: американский LIGO, франко-итальянский VIRGO, немецко-британский GEO, японский TAMA и австралийский AIGO, а одним из самых перспективных источников являются двойные черные дыры.

Основываясь на эволюционных расчетах, можно прийти к выводу, что несмотря на то, что системы двойных черных дыр встречаются реже систем двойных нейтронных звезд, однако системы двойных черных дыр являются существенно более мощными источниками гравитационного излучения, так что, возможно, более вероятно обнаружение гравитационно-волнового сигнала от системы двойных черных дыр. Читатель может ознакомиться с обширной литературой по данному вопросу по указанным в книге обзорам

#### К. Торна.

В главу 10 "Квантовое рождение частиц черными дырами" вошло рассмотрение такого важного эффекта, существенным образом "освежившего" наше понимание черных дыр, как их "испарение", открытое Хокингом.

Глава 10 первого издания книги "Поляризация вакуума в черных дырах" вошла как небольшая часть в главу 11 "Квантовая физика черных дыр", в которую вошел также такой важный раздел как "Квантовая механика черных дыр".

В рецензируемое издание добавлена новая глава 13 "Черные дыры в объединенных теориях", где рассмотрены, в частности, дилатонные черные дыры, цветовые черные дыры, которые могут иметь абелевы и неабелевы "волосы", т.е. рассмотрены решения типа черных дыр, которые могут появляться в теориях, объединяющих гравитацию с другими калибровочными теориями. Кроме того, обсуждена устойчивость таких черных дыр. Рассмотрены случаи, когда у черных дыр может быть квантовый волос, в том числе аксионный.

Во второе издание добавлена глава, тематика которой вызывает самый широкий общественный интерес — "Черные дыры, кротовые норы и машины времени". Обсуждение "машины времени" в окрестности врачающихся черных дыр, обладающих сверхэкстремальным вращением и образующих так называемые "голые сингулярности", началось более 20 лет назад. Однако существует множество аргументов против рассмотрения подобных конструкций, в частности они запрещены "принципом космической цензуры". Несколько иная конструкция "машины времени", в которой существенным компонентом является кротовая нора, рассмотрена в работе К. Торна и его учеников М. Морриса и У. Йуртсевера. В первоначальном варианте этой статьи, представленной в журнал *Phys. Rev. Lett.*, имени К. Торна не было, хотя его практическое участие было несомненным, мнение рецензента было отрицательным, поскольку, по-видимому, слишком уж необычным был предмет обсуждения для подобного журнала. Однако после включения К. Торна в список авторов работы [15] она получила положительную рецензию, была опубликована и вызвала не только большой научный, но и значительный общественный интерес. Ряд интересных оригинальных машин времени "построен" и авторами рецензируемой книги как совместно, так и в сотрудничестве с другими авторами. Об одной из таких машин времени рассказывал В.П. Фролов на конференции по гравитации в Португалии. После этого доклада появился документальный фильм, показанный по португальскому телевидению, в котором рассказывалось о том, что многовековая мечта человечества сбылась и то, что обсуждали Леонардо да Винчи и А. Эйнштейн, наконец-то удалось реализовать, а именно, стало понятно, как можно построить машину времени, и при этом почему-то показывали не В.П. Фролова, у которого был единственный доклад о машинах времени, а доклад А. Аштекара — по квантовой гравитации (по-видимому, потому, что этот американский ученый индийского происхождения выглядел наиболее импозантным из всех участников конференции). После показа этого фильма по португальскому телевидению в гостинице к В.П. Фролову обратился корреспондент одной из португальских газет с просьбой показать "машину". Корреспонденту пришлось долго объяснять, что рассмотрена лишь теоретическая концепция и до

практического "построения" весьма и весьма далеко, однако корреспондент подумал, что автор просто не хочет показывать свое "изобретение". Другой очень интересный фильм о машинах времени был показан по французскому телевидению, где пояснения давали такие известные ученые, как И.Д. Новиков, К. Торн и другие. Несомненно, что исследования по этой тематике интересны широким кругом не только физиков и астрономов. Читатель может получить представление об этой крайне интересной тематике, прочитав последнюю главу рецензируемой книги.

Авторы рецензируемой книги пишут, что при написании книги они были ограничены "во времени и пространстве". Конечно, трудно представить себе какую-либо сферу человеческой деятельности, которая была бы не ограничена или в пространстве, или во времени, однако если подходить к этой фразе с масштабами человеческой жизни, то авторы практически были не ограничены в пространстве, поскольку, по-видимому, основные идеи работы обдумывались ими в самых различных точках Земного шара, и во времени, так как работа над различными аспектами физики черных дыр продолжалась более 30 лет. Авторами книги проделана колossalная работа и читателю представлена книга, не имеющая себе равных по данной тематике. Авторы утверждают, что у них есть свои научные симпатии и пристрастия, которые могут не совпадать с симпатиями читателя. Несомненно, свои пристрастия имеются и у автора рецензии. Поэтому, воспользовавшись случаем, укажу на одну деталь изложения некоторого аспекта в рецензируемой книге. Так, в разделе "Гравитационный захват" главы 2 "Сферически симметричные черные дыры" целесообразно было бы привести не только два предельных выражения для сечения захвата медленных частиц и сечения захвата ультрарелятивистских частиц, но и общее выражение для сечения захвата частицы, обладающей произвольной скоростью на бесконечности, простой вывод для которого приведен в работе [16], а обобщение такого подхода на случай черной дыры Рейсснера–Нордстрема в работе [17]. В главе 3 "Вращающиеся черные дыры", к сожалению, не указана интересная работа [18], где проводится анализ поведения потенциалов в метрике Керра и приводятся аналитические выражения для значений параметров орбит типа сферических, обобщающие известные соотношения для круговых экваториальных орбит.

Конечно, при реализации столь грандиозной работы, как написание фундаментальной монографии, неизбежно возникают какие-либо мелкие опечатки. Однако досадно, если опечатки вкрадываются в фамилии авторов работ, внесших существенный вклад в развитие физики черных дыр. Так, например, неправильно указана фамилия А.М. Хохлова на с. 732 списка литературы, где вместо списка авторов В.Р. Frolov, А.М. Khokhlov, I.D. Novikov, C.J. Petchik указана ссылка V.P. Frolov, A.M. Khlopov, I.D. Novikov, C.J. Petchik, тем самым утрачена ссылка на участие в работе А.М. Хохлова, довольно известного специалиста по применению численных методов гидродинамики к задачам астрофизики. На с. 276 рецензируемой книги в двух местах неправильно указана фамилия известного индийского специалиста по гравитации Н. Дадича (ошибочно указана фамилия Dadlich вместо Dadhich, как правильно

приведено в списке цитируемой литературы). Можно сожалеть, что крайне интересная история физики черных дыр изложена слишком сжато. Несомненно, эти замечания носят второстепенный характер.

Безусловно, рецензируемая книга дает наиболее полное изложение современного состояния физики черных дыр, что позволяет по праву назвать ее "Энциклопедией черных дыр".

Хотелось бы закончить рецензию словами, которые приведены в предисловии к одному из отечественных учебников и которые автор рецензии видел несколько десятков лет назад: "Да будет эта книга полезна нашей ... молодежи!", однако понятно, что подобное издание является слишком дорогостоящим, а потому малодоступным не только для студентов, аспирантов и специалистов, работающих в этой области, но даже и для центральных научных библиотек. Поэтому перевод этой книги на русский язык мог бы оказаться доступным "окном" в физику черных дыр для отечественных специалистов.

В заключение приношу благодарность М.В. Сажину, Н.И. Шакуре и в особенности В.Л. Гинзбургу и Л.П. Грищуку за цennую критику первоначального текста рецензии.

А.Ф. Захаров

## Список литературы

1. Новиков И Д, Фролов В П *Физика черных дыр* (М.: Наука, 1986)
2. Зельдович Я Б, Новиков И Д УФН **84** 377 (1964); УФН **86** 447 (1965)
3. Зельдович Я Б, Новиков И Д *Релятивистская астрофизика* (М.: Наука, 1967)
4. Зельдович Я Б, Новиков И Д *Теория тяготения и эволюция звезд* (М.: Наука, 1971)
5. Зельдович Я Б, Новиков И Д *Строение и эволюция Вселенной* (М.: Наука, 1975)
6. Гальцов Д В *Частицы и поля в окрестности черных дыр* (М.: Изд-во МГУ, 1986)
7. Торн К, Прайс Р, Макдональд Д *Черные дыры. мембранный подход* (М.: Мир, 1988)
8. Чандraseкар С *Математическая теория черных дыр* Т. 1, 2 (М.: Мир, 1986)
9. Novikov I D, Thorne K S, Preprint OAP-304 (1972)
10. Блэнфорд Р Д, Торн К С, в кн. *Общая теория относительности* (Под ред. С Хокинга, В Израэля) (М.: Мир, 1983)
11. Шапиро С, Тьюколски С *Черные дыры, белые карлики и нейтронные звезды: физика компактных объектов* Ч. 1, 2 (М.: Мир, 1985)
12. Черепашук А М УФН **166** 809 (1996)
13. Liang E P *Phys. Rep.* **302** 67 (1998)
14. Blandford R, Gehrels N *Phys. Today* **52** (6) 40 (1999)
15. Morris M S, Thorne K S, Yurtsever U *Phys. Rev. Lett.* **61** 1446 (1988)
16. Захаров А Ф *Астрон. журн.* **65** 809 (1988)
17. Zakharov A F *Class. Quantum. Grav.* **11** 1027 (1994)
18. Шакура Н И *Письма в Астрон. журн.* **13** 245 (1987)