

## К столетию общей теории относительности



*Уважаемые авторы и читатели журнала  
«Пространство, время и фундаментальные взаимодействия» !*

*В 2016 г. в нашем журнале вводится рубрика, посвященная двойному юбилею теории относительности: 100 лет общей теории относительности и 110 лет специальной теории относительности. Обзорные и полубзорные статьи, посвященные юбилею, будут помечаться специальным логотипом на первой странице статьи.*

УДК 530.12; 530.51

**А. М. Баранов<sup>1</sup>**

### ДВОЙНОЙ ЮБИЛЕЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

Теория относительности, как общая, так и специальная, занимает особое место в современной физике, являясь наряду с квантовой теорией детищем XX столетия, зачастую стимулируя новые научные разработки и обосновывая фундаментальные положения физики. За прошедшие сто лет теория относительности оказала значительное влияние на всю современную физику.

**Ключевые слова:** А.Эйнштейн, теория относительности, основные моменты истории общей и специальной теории относительности.

**PACS:** 04.20.-q; 03.30.+p

#### Введение

Для физики 2015 г. – год юбилейный вдвойне, так как исполняется 100 лет со времени создания общей теории относительности (25 ноября 1915 г.) и 110 лет – специальной теории относительности (СТО). Общая теория относительности (ОТО) – релятивистская теория гравитации, справедливая при скоростях, близких к скорости света, и плотностях вещества в миллион миллиардов раз превышающих плотность воды. Теория относительности, как и квантовая теория, заняла прочное место в фундаменте современной физики, а ее создатель, Альберт Эйнштейн (1879-1955), вошел в мировую историю и историю физики наряду с крупнейшими учеными человечества, внесших бесценный вклад в сокровищницу науки и культуры [1].

Через сто лет полезно оглянуться назад и окинуть взглядом прошедшие десятилетия с точки зрения не только того, что было сделано, но и попытаться оценить вклад той или иной теории в науку в целом. Век XX подарил человечеству две основополагающие теории, оказавшие огромное влияние как на весь ход исторического развития, так и на всемирный научный и технический прогресс. Это квантовая теория, давшая начало квантовой механике и квантовой теории поля, и теория относительности: специальная (СТО) и общая (ОТО). У истоков обеих теорий стоял Альберт Эйнштейн.

Однако был еще и XIX век: век создания Майклом Фарадеем (1791-1867) и Джеймсом Максвеллом (1831-1879) электромагнитной теории, нашедшей столь широкое практическое применение в XX и XXI вв. (в том числе повседневное: через телевидение, радио, телефонную связь, включая сотовую, компьютеры, Интернет). Без этой теории не было бы и теории относительности, так как теория Максвелла по своей сути релятивистская теория. Здесь мы находим лишь подтверждение

<sup>1</sup> E-mail: alex\_m\_bar@mail.ru; Baranov@stfi.ru ; ©Баранов А.М.

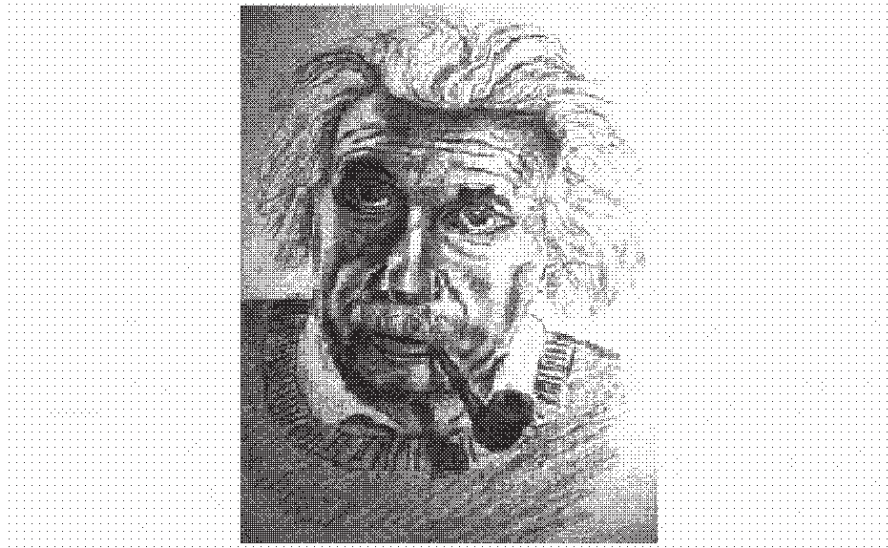


Рис. 1. А.Эйнштейн (1879-1955) (рис. автора, 1969 г.)

тому, что любое развитие (и в теории тоже) проходит путь от более простого к более сложному, опираясь на предыдущее. О месте той или иной теории в физике трудно говорить без указания того влияния (прямого и косвенного), которое она оказала как на теоретическое развитие других разделов физики, так и на их практическое применение, включая совершенствование физического эксперимента. Вместе с Галилео Галилеем (1564-1642) закончилась эпоха феноменологического развития физики, и с Исаака Ньютона (1643-1727) началось развитие физики как точной науки, базирующейся на дифференциальном и интегральном исчислениях, столь успешно применяемые впоследствии многими механиками и физиками вплоть до сегодняшних дней <sup>2</sup>.

Еще Г. Галилей сформулировал все три закона механики, которым И. Ньютон придал математический смысл, особенно второму закону, известному как второй закон механики. Он записал его в таком виде, что эта запись оказалась пригодной через 200 лет для использования и в специальной теории относительности (СТО) или, как говорят, этот закон в исходной записи является форм-инвариантным относительно релятивистских (лоренцевских) преобразований <sup>3</sup>.

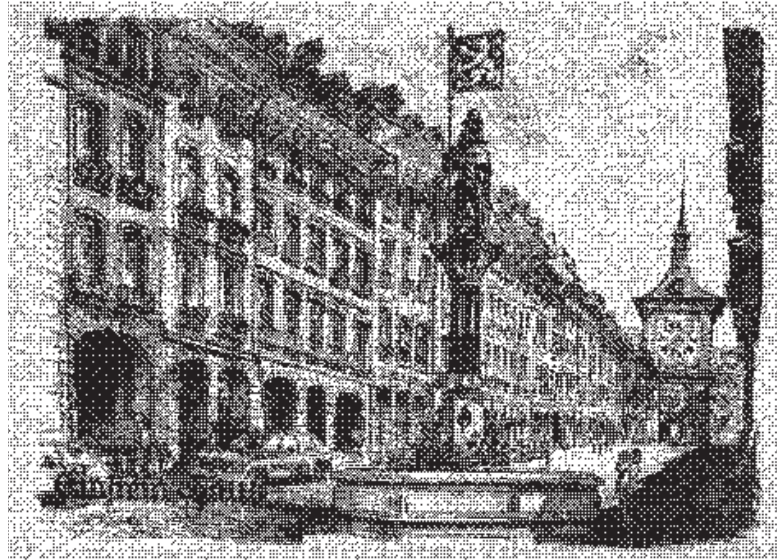
Здесь небезынтересно было бы отметить удивительный исторический факт, связанный с рождением и смертью упомянутых выше крупнейших физиков. И. Ньютон, родившийся ровно через год (5 января 1643) после смерти Г. Галилея (8 января 1642), оказался основоположником новой эпохи в развитии физики, той физики, которую мы сегодня называем классической. Именно он более 300 лет назад сформулировал закон Всемирного тяготения, согласно которому планеты движутся вокруг Солнца, а тела падают на Землю. Дж. Максвелл — создатель первой полевой теории: теории электромагнитного поля, умер в 1879 г. (5 ноября), и в том же году родился А. Эйнштейн (14 марта 1879) — автор нелинейной полевой теории гравитационного поля (1915), явившейся обобщением ньютоновской теории тяготения.

Цюрихский университет дважды отвергал докторскую диссертацию А. Эйнштейна (1902 и 1905 гг.), расценив ее как посредственную [2]. Во второй раз была представлена работа по специальной теории относительности, 110-летие которой в этом году и отмечается. Третья попытка увенчалась, наконец, успехом, но к этому времени А. Эйнштейн уже не нуждался в докторской степени, поскольку стал всемирно знаменит. Сегодня в Берне (Швейцария) есть квартира-музей А. Эйнштейна, как раз там, где он написал свою знаменитую работу по СТО (см. Рис. 2). Каждый посетитель этого музея получает на память значок с изображением А. Эйнштейна (см. Рис. 3). Общая теория относительности, созданная им через 10 лет, также была задумана в Берне.

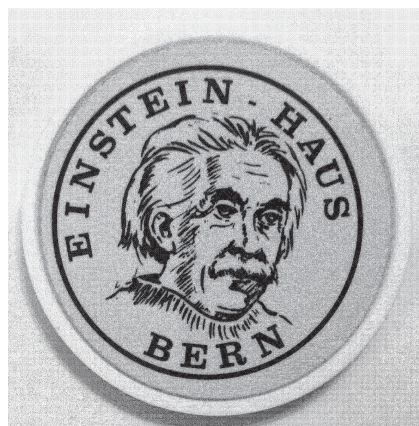
В течение всего XX века ученые проверяли, претворяли в жизнь и внедряли в практику идеи, вытекающие из работ Эйнштейна. Установленная им в 1905 г. взаимосвязь между энергией и

<sup>2</sup>Справедливости ради необходимо отметить, что независимо от И. Ньютона дифференциальное и интегральное исчисления были разработаны еще и Готфридом Лейбницем (1646-1716).

<sup>3</sup>Другими словами, сохраняется форма записи уравнения в других переменных, к которым были применены преобразования. Форм-инвариантность уравнения или закона относительно какого-либо класса преобразований называется еще ковариантностью.



**Рис. 2.** Изображение дома, где проживал в 1905 г. Альберт Эйнштейн в Берне (Швейцария). (Копия рис. из квартиры-музея в Берне любезно предоставлена выпускником физического факультета КрасГУ Д.А.Барановым.)



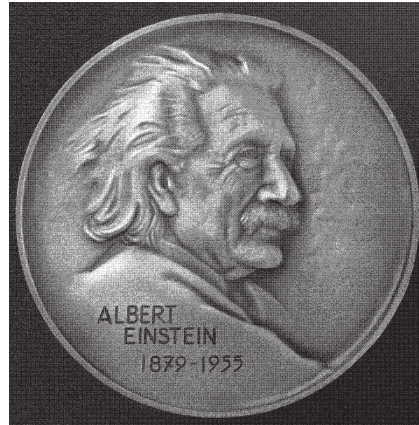
**Рис. 3.** Изображение памятного значка из квартиры-музея Альберта Эйнштейна в Берне (Швейцария) с его портретом любезно предоставлено выпускником физического факультета КрасГУ Д.А.Барановым

массой  $E = mc^2$  (знаменитая формула Эйнштейна)<sup>4</sup>, как известно, послужила ключом (вместе с открытием искусственного деления ядер урана) к созданию атомной бомбы и атомных электростанций и стала основой всего последующего развития физики. Именно связь энергии, массы покоя и импульса привела П.Дирака (1902-1983) к мысли о существовании античастиц. СТО стала мощным инструментом современной теории элементарных частиц. Благодаря СТО оказалось возможным получение и изучение новых элементарных частиц в современных ускорителях, что, в частности, необходимо для понимания происходившего во время Большого Взрыва, положившего начало нашей Вселенной. Эффект замедления времени (часов) был подтвержден как на основе распада элементарных частиц, так и с использованием искусственных спутников Земли, в частности, с помощью спутниковых навигационных систем GLONASS и GPS.

## 1. Эфир и его роль в классической физике

К сожалению, широко распространено мнение, что теория относительности не оказала заметного влияния на физику XX века. Однако это не совсем так. Возьмем, к примеру, специальную теорию относительности.

<sup>4</sup>Необходимо отметить, что указанная выше связь между массой и энергией предлагалась не один раз, начиная с О.Хевисайда (1850-1925) и заканчивая А.Пуанкаре (1854-1912)



**Рис. 4.** Изображение памятной медали из квартиры-музея Альберта Эйнштейна в Берне (Швейцария) любезно предоставлено выпускником физического факультета КрасГУ Д.А.Барановым.

Сегодня, более чем через 100 лет, уже мало кто вспоминает, что на протяжении столетий описание физических явлений было тесно связано с понятием мирового эфира, введенного еще Рене Декартом (1596-1650). Он считал, что существует тончайшая материальная среда — ЭФИР, заполняющая все мировое пространство.

К началу XX века благодаря созданию электромагнитной теории и записи правильных уравнений поля (уравнений Максвелла) <sup>5</sup> был поставлен ряд вопросов, касавшихся в основном существования всемирного эфира — некой среды, в которой, как предполагалось на протяжении столетий, движутся физические тела и передаются различные физические возмущения (подобно тому, как в воздухе происходит распространения звука). Постепенно по мере открытия ряда физических законов и явлений гипотеза эфира подверглась значительной модификации, чтобы удовлетворить им <sup>6</sup>. В частности, дело дошло до того, что пришлось ввести атомарное строение эфира с атомами, обладающими рядом свойств, не всегда совместимых между собой, но позволяющих объяснить существующие к тому времени физические явления, включая электромагнетизм и гравитацию (см., например, [3], [4]). После того, как Дж. Максвелл установил равенство между скоростью света и скоростью распространения электромагнитных возмущений, стали говорить о мировом эфире. В итоге, к последней четверти XIX века вся физика объяснялась на основе экзотических свойств эфира ([3], [4]), а сам эфир приобрел такие свойства, что возникла настоятельная потребность его обнаружения из-за ряда несоответствий. Например, из-за невыполнимости для уравнений Максвелла принципа относительности, установленного Галилеем для классической механики, возникла мысль о существовании привилегированной системы отсчета, которую и связали с неподвижным мировым эфиром. Поэтому еще в 1875 г. Дж. Максвелл предложил способ обнаружения эфира, связанный с тем, что физическое тело, двигаясь сквозь эфир, должно обдуваться эфирным ветром, подобно тому, как это происходит при быстрой езде в неподвижном воздухе. Используя эту идею, Альберт Майкельсон (1852-1931) попытался поставить в 1882 г. эксперимент по обнаружению эфирного ветра. Лишь один физик, Эрнст Мах (1838-1916), основываясь на полученном А.Майкельсоном отрицательном результате, предложил отбросить всякое представление об эфире. Однако А.Майкельсон (теперь уже совместно с Э.Морли) упорно продолжал совершенствовать эксперимент. Другие физики, Джордж Фицджеральд (1851-1901) и Хендрик Лоренц (1853-1928), в 1892 г. независимо друг от друга хотели совместить результат отсутствия в эксперименте эфирного ветра с новой гипотезой о сокращении размеров физических тел в направлении движения сквозь эфир в отношении

$$l/l_0 = \sqrt{1 - V^2/c^2}, \quad (1.1)$$

где  $l$  — длина движущегося относительно эфира тела со скоростью  $V$ ,  $l_0$  — длина тела в сопут-

<sup>5</sup>Самим Дж. Максвеллом уравнения электромагнитного поля были записаны в кватернионной форме. Современную векторную запись этих уравнений предложил О.Хевисайд.

<sup>6</sup>Ситуация очень напоминала положение с эпициклами, введенными Птолемеом (90-168 гг. от Р.Х.) задолго до Иоганна Кеплера (1571-1630), чтобы теоретически объяснить видимое движение планет через движения по окружностям. Еще древние греки сформулировали догмат о равномерном движении по окружности. Поэтому чем больше открывалось фактов, связанных с движением планет, тем изощреннее становилась теория эпициклов, вводя все новые комбинации последних. Лишь у И. Кеплера этой теории не нашлось места.

ствующей (собственной) системе отсчета,  $c$  — скорость света в вакууме. Дж. Фицджеральд объяснял сокращение размеров предмета тем, что эфир, сопротивляясь движущемуся сквозь него физическому телу, деформирует его. Х. Лоренц давал аналогичную интерпретацию, учитывая, однако, что электромагнитные силы суть натяжения эфира, а все тела состоят из атомов, взаимодействующих электромагнитным образом. При этом в соответствии с неудачей эксперимента Майкельсона-Морли и постоянством скорости света оба предложили еще гипотезу замедления времени, дополняющую эффект сокращения размеров тел,

$$\Delta t = \Delta t_0 / \sqrt{1 - V^2/c^2}, \quad (1.2)$$

где  $\Delta t$  — промежуток времени, измеренный по движущимся относительно эфира часам, а  $\Delta t_0$  — промежуток времени, отсчитываемый часами, покоящимися относительно абсолютного эфира. Такой подход позволял, с одной стороны, сохранить абсолютный эфир, а с другой, — уравнения электромагнитного поля (уравнения Максвелла) в отличие от уравнений классической механики оказывались форм-инвариантными относительно преобразований пространства и времени, приведенных выше и названных преобразованиями Фицджеральда-Лоренца <sup>7</sup>.

Итак, эфир продолжал существовать в физике, а теория Фицджеральда-Лоренца с изменяющейся длиной и временем казалась большинству физиков если не абсурдной, то, по крайней мере, очень странной, так как позволяла полностью скрыть присутствие эфира. Это длилось до 1905 г. пока не появилась работа А. Эйнштейна «К электродинамике движущихся тел» ([1], т.1, с.7), которая заложила основы специальной теории относительности. В этой работе было впервые показано, что можно обойтись без понятия эфира и сохранить в физике постоянство скорости света вместе с принципом относительности, не ограничивая применимость последнего только механическими явлениями <sup>8</sup>. До сих пор в ряде учебников утверждается, что СТО опровергла существование эфира, хотя на самом деле ей просто не понадобилась эта гипотеза. И сегодня делаются попытки ввести эфир, связывая его, в частности с физическим вакуумом.

## 2. Специальная теория относительности и ее место в физике

Именно работа А.Эйнштейна 1905 г., как и последующие его работы, позволяют нам говорить о том месте, которое СТО стала занимать в физических теориях XX века. Прежде всего, ей удалось отказаться от гипотезы эфира (как основной среды в которой происходят физические явления). При этом были сформулированы два постулата: специальный принцип относительности, обобщающий механический принцип относительности Г. Галилея на произвольные физические явления (первый постулат), и принцип независимости скорости света в вакууме от скорости источника света в инерциальной системе отсчета наблюдателя (второй постулат) <sup>9</sup>. Именно эти постулаты вместе с гипотезой неизменности величины скорости света как в прямом направлении, так и в обратном направлениях (равенство времен распространения светового сигнала «туда» и «обратно») позволили А.Эйнштейну ([1], т.1, с.14) получить преобразования Лоренца отличным от других авторов путем <sup>10</sup>.

Установив новые пространственно-временные отношения (относительность длины, времени и одновременности событий), СТО обобщила на случай движения со скоростями, близкими к скорости света в вакууме, законы классической физики <sup>11</sup>. Другим важным итогом этой теории оказалось введение требования лоренц-инвариантности ко всем создаваемым физическим теориям, то есть любая физическая теория должна теперь быть инвариантной относительно преобразований Лоренца (как, например, теория электромагнитного поля) <sup>12</sup>. В рамках СТО Герману Минковскому

<sup>7</sup> На самом деле, преобразования Лоренца нашел А.Пуанкаре из требования форм-инвариантности уравнений Максвелла и назвал их в честь Х.Лоренца.

<sup>8</sup> А.Пуанкаре, несмотря на огромный вклад в фундамент теории относительности, не смог отказаться от идеи эфира.

<sup>9</sup> Необходимо отметить, что в современных учебниках физики для средних школ за второй постулат Эйнштейна выдается фактическое следствие двух постулатов: скорость света постоянна в любой инерциальной системе отсчета (см. [5]).

<sup>10</sup> Еще А.Пуанкаре ранее рассмотрел введение понятия местного времени.

<sup>11</sup> В частности, правило сложения скоростей в классической физике в СТО превратилось в два: одно — связанное с измерениями складываемых скоростей в одной и той же системе отсчета (классическое правило сложения скоростей или правило параллелограмма), и другое — сложение скоростей, измеренных в разных системах отсчета (правило Эйнштейна). Как раз в школьных учебниках по физике упоминается только одно правило [5]: правило Эйнштейна.

<sup>12</sup> В большинстве учебников и пособий утверждается неприменимость преобразований Галилея к релятивистским



(1864-1909) удалось объединить пространство и время, введя единое четырехмерное пространство-время<sup>13</sup>. Это позволило совсем с другой стороны взглянуть на физику в целом. В частности, выяснилось, что энергия и импульс суть компоненты четырехмерного вектора энергии-импульса. Более того, плотность энергии, плотность импульса и давление оказались частями единого тензора энергии-импульса.

Кроме того, связь энергии  $E$ , импульса  $p$  и массы покоя  $m_0$  с помощью соотношения

$$E = \pm \sqrt{p^2 c^2 + m_0^2 c^4}, \quad (2.1)$$

привела Поля Дирака (1902-1983) к мысли о существовании античастиц, что и было блестяще подтверждено в экспериментах. Построенная П.Дираком теория дырок<sup>14</sup>, сформулированная вначале для электронов, легла в основу теории физического вакуума, влияние которого на физические явления было обнаружено в экспериментах Уиллиса Лэмба (1913-2008) (лэмбовский сдвиг линий) и Хендрика Казимира (1909-2000). Именно указанное выше соотношение для энергии заставило отказаться от представления о вакууме как состоянии, в котором отсутствуют частицы. П.Дираку также удалось построить релятивистскую теорию движения электрона, соединив воедино СТО, квантовую механику и понятие спина<sup>15</sup>.

Эффект замедления времени был проверен на искусственных спутниках Земли и позволил, например, создать в СССР/России глобальную навигационную спутниковую систему (GLONASS), а в США глобальную навигационную систему (GPS) для навигационно-временного обеспечения различных пользователей на Земле.

### 3. Общая теория относительности и ее влияние на физику

Однако принципы СТО, распространяясь на механические и электромагнитные явления, не захватывали теорию гравитации, которая стояла особняком, демонстрируя тем самым своеобразный изъян теории. Крупнейшим в то время физикам, Х.Лоренцу, Макс Планку (1858-1947), это не казалось странным ввиду малого влияния гравитационных сил на земные физические процессы и явления. Однако в Солнечной системе имелись некоторые факты астрономических наблюдений, которые на протяжении столетий не удавалось объяснить. Одним из них было отклонение луча света гравитационным полем Солнца, когда луч света от далекой звезды проходил вблизи солнечного диска. Еще И.Ньютон, введя гипотезу о корpusкулах (частичках) света, на основе своей теории тяготения вычислил, что свет вблизи Солнца отклоняется на угол примерно в  $0,87''$ , а наблюдения давали около  $1,7''$ .

Вплоть до XX века не удавалось теоретическим путем получить согласие с астрономическими наблюдениями, несмотря на все усилия астрономов. Другой факт, омрачавший настроение от сознания неполного совершенства стройного здания классической физики, — эффект смещения перигелия Меркурия, ближайшей к Солнцу планеты. Если бы гравитационное поле, в котором движутся планеты, описывалось бы гравитационным потенциалом  $U$ , обратно пропорциональным расстоянию  $r$  от Солнца,  $U \propto 1/r$  (потенциал кулоновского типа), а сами планеты представляли бы собой материальные точки, то их движение происходило бы по эллипсам, в одном из фокусов которых находится Солнце, как это и предписывается первым законом Кеплера. При этом по

движениям. Однако это так. Если провести ортогонализацию преобразований Галилея в предположении существования единого четырехмерного пространства-времени, то получим преобразования Лоренца (см, например, [4]). Ситуация напоминает использование декартовых (прямоугольных) и косоугольных систем координат на евклидовой плоскости.

<sup>13</sup> Ради исторической справедливости следует подчеркнуть, что А.Пуанкаре за четыре года до Г.Минковского и за год до А.Эйнштейна ввел единое четырехмерное пространство-время, записав, в частности, и четырехмерный тензор энергии-импульса.

<sup>14</sup> Суть теории дырок составляют следующие положения. В состоянии физического вакуума все уровни с отрицательной энергией заполнены частицами, а уровни с положительной энергией свободны. При этом такое распределение частиц ненаблюдаемо и играет роль начала отсчета для физических величин. Энергетическая разность между отрицательными и положительными состояниями составляет  $\Delta = 2mc^2$ . Заполненный уровень с положительной энергией воспринимается наблюдателем как частица, а свободный уровень («дырка») с отрицательной энергией — как античастица. Квант света с энергией, большей разности  $\Delta$ , может возбудить вакуум и перевести частицу из состояния с отрицательной энергией в состояние с положительной, что отвечает процессу рождения пары частица-античастица.

<sup>15</sup> Спин — собственный неунуничтожаемый момент импульса элементарной частицы, являющийся своеобразной меткой данной микрочастицы (квантовым числом) и измеряемый в единицах постоянной Планка. С классических позиций спин связывают с собственным «вращением», хотя в микромире таковое отсутствует.

отношению к фокусу, где расположено Солнце, имеются две точки поворота, представляющие собой точки наименьшего и наибольшего удаления. Ближайшая носит название перигелия орбиты, а удаленная — афелия. В случае точного выполнения закона Всемирного тяготения при повторных оборотах вокруг Солнца планета проходит через те же самые точки перигелия и афелия. В действительности же мы не имеем такой идеальной картины, в частности, из-за того, что ни планеты, ни Солнце не являются материальными точками. Кроме того, планеты-гиганты (Юпитер, Сатурн) вносят дополнительные возмущения в результирующее гравитационное поле. Поэтому в реальности мы наблюдаем хоть и малые, но заметные отличия от Всемирного закона тяготения, связанные с малыми различными возмущениями  $\varepsilon(r, t)$ , вообще говоря, зависящими как от расстояния, так и от времени  $t$ . Эти возмущения можно учесть в записи гравитационного потенциала, представив его в виде  $U \propto 1/r + \varepsilon(r, t)$ , что вместе с законом сохранения момента импульса приводит к медленному повороту эллипса<sup>16</sup>, по которому движется планета. В итоге траектория представляет собой розетку (не обязательно замкнутую), при этом точки перигелия и афелия с каждым оборотом планеты вокруг Солнца смещаются на некоторый угол, то есть планета фактически при каждом обороте проходит другие точки перигелия и афелия. Астрономы в течение столетий научились рассчитывать это смещение, но их вычисления, например, по смещению перигелия Меркурия немного не совпадали с наблюдениями. Эта разница для Меркурия за 100 лет составила около  $43''$ <sup>17</sup>. Величина небольшая, но она все же вызывала беспокойство, так как не находила объяснения в классической физике.

С другой стороны, еще Г. Галилей экспериментально доказал, что все тела вблизи поверхности Земли падают с одинаковым ускорением вне зависимости от массы тела<sup>18</sup>. Он впервые четко сформулировал понятие ускорения и инерциального движения, которому И. Ньютон придал форму первого закона механики, исключив из галилеевского определения прямое указание на то, что такое движение справедливо в плоском пространстве<sup>19</sup> [6], подготовив тем самым понимание использования этого закона в более общем случае — движении по геодезической линии, то есть по наискратчайшему пути в произвольном пространстве.

Открытый Г. Галилеем принцип эквивалентности инертной и гравитационной масс<sup>20</sup> проверялся неоднократно как самим И. Ньютоном, так и другими исследователями<sup>21</sup>. Из этого принципа следует, что силы тяготения пропорциональны инертной массе тела, так же как и силы инерции<sup>22</sup>. Это обстоятельство навело в 1907 г. А. Эйнштейна на мысль ([1], т.1, с.65) о существовании связи между силами тяготения и силами инерции, так как в некоторых случаях невозможно их различить — так называемый принцип эквивалентности сил тяготения и сил инерции<sup>23</sup> или принцип эквивалентности Галилея-Эйнштейна<sup>24</sup>.

Обычно этот принцип иллюстрируется на примере лифта, в который помещен наблюдатель с пружинным динамометром. Рассмотрим две ситуации. Пусть сначала лифт покоится в однородном гравитационном поле напряженности  $g$ , равном по величине ускорению свободного падения<sup>25</sup>. Наблюдатель, подвесив к динамометру некоторое тело, фиксирует наличие в кабине силового поля по растяжению пружины. Предположим, что теперь лифт находится в области, свободной от внешних гравитационных сил, где он равноускоренно движется с ускорением под действием сил негравита-

<sup>16</sup> Другими словами, происходит прецессия эллипса, и планета одновременно участвует в движении по эллипсу и повороте вокруг Солнца вместе с эллипсом.

<sup>17</sup> Это смещение было открыто в 1859 г. У. Ж. Леверрье (1811-1877).

<sup>18</sup> Г. Галилею приписывают опыты по сбрасыванию различных тел с наклонной Пизанской башни (Италия). На самом деле он проводил эквивалентные эксперименты с катящимися по наклонному желобу шарами.

<sup>19</sup> В своих «Беседах» (День четвертый) [6] Г. Галилей формулирует фактически принцип инерции, но для движения по евклидовой плоскости.

<sup>20</sup> Учет факта падения тел с одинаковыми ускорениями и открытый И. Ньютоном закон Всемирного тяготения позволяют получить это утверждение из второго закона механики, куда входит инертная масса, и закона тяготения, в котором присутствует гравитационная масса.

<sup>21</sup> Сам И. Ньютон провел изящный эксперимент, позволивший выяснить, что период маятника не зависит от природы груза (точность  $10^{-2}$ ). Р. Этвеш (Венгрия, 1848-1919) в 1889-1908 гг. осуществил серию экспериментов по проверке равенства гравитационной и инертной масс, которые показали, что такое равенство выполняется с точностью до  $5 \cdot 10^{-5}$ . Аналогичную серию экспериментов в 1959-1963 гг. в США выполнил Р. Дикке (1916-1997) с сотрудниками (точность составила  $10^{-11}$ ). В СССР В. Б. Брагинскому (1931) с сотрудниками в 1969 г. удалось увеличить точность до  $10^{-12}$ .

<sup>22</sup> Силы инерции — силы, которые обнаруживает наблюдатель, находясь в неинерциальной системе отсчета.

<sup>23</sup> На самом деле природа сил инерции и сил гравитации различна. Возникновение сил инерции не связано с наличием кривизны пространства-времени в отличие от сил гравитации. Поэтому сходство между ними чисто локальное.

<sup>24</sup> Принцип эквивалентности Галилея-Эйнштейна сыграл фундаментальную эвристическую роль при создании общей теории относительности.

<sup>25</sup> Обычно такие условия предполагаются вблизи поверхности Земли.

ционного происхождения (о чем наш наблюдатель и не догадывается). В кабине возникает однородное поле сил инерции с напряженностью, по величине равной  $g$ , и наблюдатель обнаруживает то же самое растяжение пружины динамометра, что и в предыдущем случае. Это означает, что, находясь в замкнутой лаборатории, наблюдатель опытным путем не сможет отличить, находится ли он в статическом однородном гравитационном поле или движется равноускоренно. Таким образом, если лифт будет свободно падать в однородном гравитационном поле, то поле сил инерции скомпенсирует силовое воздействие гравитационного поля и наблюдатель отметит наличие невесомости, а проведенные опыты в своей системе отсчета позволят считать ее инерциальной. Однако из-за неоднородности реальных гравитационных полей свободно падающую систему отсчета нельзя неограниченно продолжить на все пространство и на все моменты времени из-за наличия приливных сил. Поэтому описанная выше компенсация гравитационного поля полем ускорений возможна лишь в локальной области пространства для ограниченных промежутков времени, то есть в локально падающей (локально инерциальной) системе отсчета. Следовательно, несмотря на то, что на протяжении всей истории физики пользовались преимущественно инерциальными системами отсчета (ИСО), при учете реальных гравитационных полей необходимо отказаться от прежней их роли, заменив локально свободно падающими системами отсчета. Теперь первый закон механики может быть сформулирован как локальный и обобщен именно на такие системы отсчета.

После того, как 25 ноября (четверг) 1915 г. А. Эйнштейн записал окончательный вариант уравнений гравитационного поля с тензором энергии-импульса ([1], т.1, с.448)<sup>26</sup>, он сам на основе своих уравнений в 1915 г. обнаружил, что его теория дает правильные значения для отклонения луча света вблизи Солнца и углового смещения перигелия Меркурия ([1], т.1, с.439). Оказалось, что в классической теории гравитации эти эффекты невозможно правильно рассчитать, так как они определяются кривизной пространства-времени<sup>27</sup>. Таким образом, новая теория оказалась тесно связанной с геометрией пространства-времени: кривизной и метрическими соотношениями.

Кроме того, уже в 1916 г. К.Шварцшильд (1873-1916) первым получил точное решение [7] уравнений Эйнштейна для уединенного точечного массового объекта. Это решение, известное как решение Шварцшильда, с одной стороны, оказалось обобщением Всемирного закона тяготения Ньютона для точечной массы, а с другой, точным решением для статической модели, названной впоследствии<sup>28</sup> Дж.Уилером (1911-2008) «Черной дырой».

К 80-м годам XX столетия на основе проведенных серий экспериментов в пределах Солнечной системы по проверке классических опытов, подтверждающих правильность общей теории относительности, удалось установить, что из всех предлагавшихся в XX веке гравитационных теорий лишь теория Эйнштейна давала наименьшее расхождение с наблюдениями (около 1%). Другими словами, ОТО заняла место одной из основных физических теорий. Если же принять во внимание, что гравитационное поле, создаваемое материальными объектами негравитационного происхождения, несет информацию о самих этих объектах и может рассматриваться как слепок с них, то понятна та важность изучения гравитационных полей, которая появляется с установлением правильности этой теории. Еще более убедительное подтверждение получила эта теория после открытия двойных пульсаров в 1974 г. Дж. Тейлором (мл.) (1941) и Р. Халсом (1950) ([8] - [10]). За 20 лет наблюдения за одной из таких двойных систем удалось установить, что эффект смещения периастра одного из объектов (аналог эффекта смещения перигелия Меркурия) составил за эти годы более  $80^\circ$  или почти  $4^\circ$  в год [10]. На сегодня это наиболее убедительное доказательство справедливости ОТО вне Солнечной системы, дающее расхождение с теорией  $\approx 0,4\%$ .

<sup>26</sup>Эти уравнения известны как уравнения Эйнштейна. Если появление СТО было подготовлено всем ходом исторического развития классической физики, то возникновение ОТО на том временном промежутке — несомненная заслуга А. Эйнштейна, поставившего и решившего задачу о построении релятивистски инвариантной теории гравитации. Однако на той же неделе в ноябре 1915 г. независимо от А.Эйнштейна эти уравнения были получены Д.Гильбертом (1862-1943), но другим путем. Дело в том, что А.Эйнштейн летом 1915 г. поделился с Д.Гильбертом трудностями, связанными с проблемой получения релятивистских ковариантных уравнений гравитационного поля. И уже в ноябре того же года Д.Гильберт решил эту задачу вариационным путем, но сам никогда не претендовал на авторство этих уравнений.

<sup>27</sup>Стало совершенно ясно, что ни Н. Лобачевский (1792-1856), ни Б. Риман (1826-1866), ни другие исследователи не могли создать современную теорию гравитации, так как они пытались связать гравитацию с искривлением обычного (трехмерного) пространства, а не единого пространства-времени. Однако необходимо отметить их существенный вклад в создание условий появления такой теории. В частности, если бы Б. Риман, владеющий соответствующим математическим аппаратом, знал о необходимости включить в рассмотрение проблемы и время (то есть знал бы о четырехмерном пространстве-времени), то возможно ему бы удалось решить задачу обобщения Всемирного закона тяготения Ньютона на неевклидовы пространства.

<sup>28</sup>Это случилось в начале 60-х годов XX века.



В 1916 г. А. Эйнштейн показал, что новая теория допускает существование гравитационных волн ([1], т.1, с.514), аналогично тому, как теория Максвелла — электромагнитные волны. Из-за чрезвычайной малости эффектов, производимых гравитационными волнами, постановка проблемы обнаружения этих волн на Земле стала возможной лишь в 60-х годах XX столетия после появления достаточной экспериментальной базы. Хотя попытки экспериментальных групп в США (Дж. Вебер (1919-2000)), СССР (В.Б. Брагинский) и других странах за последние 50 лет не увенчались на Земле успехом, они значительно продвинули технику и теорию физического эксперимента. Однако косвенное обнаружение гравитационных волн все же состоялось при наблюдениях все тех же двойных систем пульсаров, упомянутых выше ([30] - [10]). Эту систему можно сравнить с вращающейся гантелью, которая согласно ОТО должна излучать гравитационные волны, а значит, терять энергию, как это происходит с физической системой при излучении ею электромагнитных волн. Такие потери были обнаружены в пределах 20%-й ошибки наблюдений, что явилось еще одним доказательством справедливости ОТО.

Из всех попыток, связанных с обобщением теории Эйнштейна, необходимо упомянуть о подходе Теодора Калуцы (1885-1954) [11], оказавшем сильное влияние на исследования в области единой теории поля. В 1921 г. он предложил переписать уравнения Эйнштейна для пятимерного пространства-времени, введя еще одно пространственноподобное измерение. При этом все величины оказывались независимыми от пятой переменной. Удивительный результат заключается в том, что эти уравнения объединяют в себе уравнения Эйнштейна и Максвелла для четырехмерия. Это подтолкнуло ряд исследователей (в том числе и А. Эйнштейна) на работу по созданию единой теории поля. Не последнюю роль эти идеи сыграли и в построении единой теории электрослабых взаимодействий (Ш.Глэшоу (1932), С.Вайнберг (1933), А.Салам (1926-1996)). Примерно каждые 15 лет происходит возрождение интереса к теории Калуцы, которая продолжает и в наши дни будоражить умы исследователей. Здесь, в частности, можно упомянуть об одном обобщении ([12], [13]), связанном с записью уравнений Максвелла в плоском пространстве-времени Калуцы и обнаружением магнитного заряда, силовые линии которого в нашем 4-мерном пространстве-времени задаются градиентом скалярной функции, являющейся пятой компонентой 5-мерного вектор-потенциала. При этом электрический  $e$  и магнитный  $m$  заряды связаны между собой дуальными поворотами, определенными в двух 4-мерных подпространствах: Минковского и Евклида ([12], [13]),

$$\times * e = m; \quad * \times m = -e. \quad (3.1)$$

Свое другое применение ОТО нашла в релятивистской астрофизике, где с ее помощью в 60-х годах XX века было предсказано существование черных дыр — астрофизических объектов, обладающих настолько мощным гравитационным полем, что ни один материальный объект или сигнал не может вырваться из них наружу. Эти предсказания стимулировали как астрономические наблюдения по поиску таких объектов во Вселенной, так и теоретические разработки по предсказанию свойств черных дыр (см., например, [14]- [15]). В начале 70-х годов были обнаружены первые кандидаты в черные дыры, то есть астрофизические объекты, по своим наблюдательным характеристикам подходящие на эту роль. К концу XX века черные дыры были обнаружены. Сегодня ряд спиральных галактик, включая нашу (Млечный путь), имеют в центре гигантские черные дыры до 150 млн солнечных масс. При этом вопрос о пределе их устойчивости остается открытым.

Другая проблема — это задача моделирования в рамках ОТО релятивистских звезд, в которых вещество обладает гигантскими плотностями и находится под действием сверхгигантских давлений. В числе многих попыток следует упомянуть об исследованиях по моделированию внутренних областей как статических звезд, включая электрически заряженные (см., например, [16]- [20]), так и излучающих релятивистских звезд с учетом радиационной сублимации (см., например, [21]- [24]).

Следующей областью физики XX века, где существенно сказалось влияние ОТО, оказалась космология — учение о Вселенной. Чтобы спасти классическую статическую модель Вселенной, А. Эйнштейну пришлось в свои уравнения ввести член, который впоследствии получил название  $\lambda$ -члена или космологической постоянной. Свое место в физике этот член занял совсем недавно, когда началось интенсивное теоретическое исследование теории и физики возникновения Вселенной: Большого Взрыва. Именно тогда пришло понимание того, что  $\lambda$ -член связан с физическим вакуумом — средой, из которой и родилась наша Вселенная. Эта среда обладает свойством упругости и отрицательным давлением  $p$ , которое связано с положительной плотностью энергии  $\epsilon$  как  $p = -\epsilon$  (уравнение состояния физического вакуума).

Однако не все были согласны с А. Эйнштейном по поводу теории статической Вселенной, обладающей не меняющейся со временем кривизной. Наиболее удачной попыткой следует считать

создание в России в начале 20-х годов XX века Александром Фридманом (1888-1925) моделей нестационарной изотропной Вселенной: открытой и закрытой, имеющих, соответственно, отрицательную и положительную кривизны ([25], с.229-244). Эти модели оказались в первом приближении правильно описывающими Вселенную. Однако решение вопроса о замкнутости или открытости нашей Вселенной осталось открытым до сегодняшнего дня из-за неопределенности наблюдательных данных по средней плотности Вселенной<sup>29</sup>. Рассматривая все множество галактик как бесстолкновительную пыль, А.Фридман предсказал расширение нашей Вселенной, пропорциональное скорости разбегания галактик, которое и было сразу после его смерти обнаружено в серии наблюдений Эдвина Хаббла (1889-1953) (закон Хаббла), что явилось доказательством однородности Вселенной в больших масштабах. Точные модели, обобщающие фридмановскую открытую Вселенную на случаи наличия кроме вещества еще и равновесного излучения, излучения и объемной вязкости, были построены значительно позже [26] - [29]. Примером дальнейшего обобщения открытых космологических моделей может служить [30].

Для модели открытой Вселенной возможен еще один подход к теоретическому описанию и конструированию точных космологических решений гравитационных уравнений Эйнштейна с тензором энергии-импульса идеальной жидкости на основе выбора метрики, конформной метрике Минковского (форма записи В.А.Фока [31], [32]). В этом случае продемонстрировано сведение проблемы моделирования эволюции открытой Вселенной для конформно-плоской метрики пространства-времени к эквивалентной ей задаче о механическом движении частицы единичной массы в некотором силовом поле. Путем введения ряда «механических» потенциалов получены точные космологические модели, начиная с решения Фридмана, заполненные материей и излучением в приближении идеальной жидкости. Кроме того, такой подход позволяет сконструировать точное космологическое решение для открытой Вселенной с «бутылочным» потенциалом для эквивалентного уравнения Ньютона. Такая космологическая модель может описывать эволюцию Вселенной, начиная с мира де Ситтера, без введения скалярного поля ([33]- [36]). Результаты подхода по обобщению на многомерные пространства-времена суммированы в [37].

Еще в 1946-1948 гг. XX века Джордж Гамов (1904-1968) предложил модель «горячей Вселенной», в рамках которой и предсказал существование реликтового электромагнитного излучения, остывшего с момента Большого Взрыва до 6 К. Его теория была подтверждена экспериментальным открытием в 1964 г. реликтового излучения с температурой в  $3K$ <sup>30</sup>. В конце 70-х - начале 80-х годов XX века к теории Большого Взрыва был проявлен повышенный интерес в связи с теорией Великого объединения взаимодействий. Возникла теория инфляционной Вселенной [38]<sup>31</sup>, которая позволила в рамках современных физических представлений описать эволюцию Вселенной. Здесь, как и в теории черных дыр, нашли свое применение две теории: современная теория гравитации и квантовая теория поля.

В числе исследований по самой структуре гравитационных полей, тесно связанной со структурой 4-мерного пространства-времени, следует отметить работы А.З. Петрова ([39]- [41]) по алгебраической классификации гравитационных полей. Эта классификация позволяет заранее выявить ряд свойств гравитационного поля, присущих данному алгебраическому типу. При этом оказалось, что алгебраические типы гравитационных полей крайне неустойчивы к малым возмущениям гравитационным полем другого алгебраического типа ([42]- [44]). Кроме того, на основе этой классификации удалось обнаружить фазовые переходы между алгебраическими типами гравитационных полей<sup>32</sup> ([45]- [47]), аналогичные фазовым переходам в конденсированной материи.

Одним из примеров таких фазовых переходов являются светоподобные пределы решений уравнений Эйнштейна для островных источников, когда скорость источников устремляется к скорости света, а масса покоя — к нулю. Результатом такого предельного перехода оказываются сингулярные безмассовые частицы, движущиеся со скоростью света: лайтоны (lightons) и геликсоны (helixons), то есть частицы обладающие спиральностью (классические аналоги фотонов). Сами такие светоподобные пределы оказываются точными решениями уравнений тяготения ([50]- [57]).

Другим примером могут служить исследования по генерации и конструированию статических сферически симметричных решений уравнений тяготения и связанного с этим изменением

<sup>29</sup> Возможно наши представления о Вселенной существенно изменятся в связи с открытием наличия массы покоя у нейтрино.

<sup>30</sup> А.А.Пензиас (1933) и Р.В.Вильсон (1936) обнаружили космическое микроволновое фоновое электромагнитное излучение.

<sup>31</sup> Основоположниками теории ранней Вселенной с инфляционной стадией являются А.А.Старобинский (1948), А.Д.Линде (1948), А. Гут (1947).

<sup>32</sup> Аналогичные фазовые переходы наблюдаются и в электромагнитном поле [47]- [48].

алгебраического типа гравитационного поля ([58]- [59]), а также конструирование сферически-симметричных статических внутренних решений со слоистой структурой [60]. Распространением подхода Петрова на алгебраическую классификацию 4-мерных локально евклидовых пространств, где появляются двойные переменные вместо комплексных при классификации 4D локально псевдоевклидовых пространств, и на 5D пространства-времени типа Калуцы могут быть работы ([61]- [62]) и [63]- [64]).

#### 4. Ошибки Эйнштейна

К.Шварцшильд в своей работе 1916 г. [7] упоминает, что А.Эйнштейн в работе 1915 г. ([1], т.1, с.439) записал приближенное решение своих уравнений для внешнего гравитационного поля уединенного тела. И тогда К.Шварцшильд ставит задачу получения точного решения, которую он блестяще решает в координатах, называемых сегодня «координатами кривизны». Однако, он не подозревал (как и сам А.Эйнштейн!), что записанная А.Эйнштейном в такой форме приближенная метрика одновременно является и точным решением статических уравнений тяготения для сферически-симметричного случая, но в других координатах. Другими словами, А.Эйнштейн был в одном шаге от получения точного решения своих уравнений, которое впоследствии стало называться решение Шварцшильда, но в форме Керра-Шилда (см., например, [65]). Именно эта форма записи метрики позволила не только в более простом виде переписать решение для вращающегося тела (решение Керра [66]), но и получить решение для вращающегося электрически заряженного тела (решение Керра-Ньюмена [67])<sup>33</sup>.

А.Эйнштейн считал одной из самых своих больших ошибок это введение космологической постоянной [69]. В самом деле, удивительно, что он допустил тривиальную ошибку, введя эту постоянную. Космологическая постоянная действует подобно силе, которая увеличивается с расстоянием (например, сила инерции), в то время как обычные притягивающие гравитационные силы уменьшаются с увеличением расстояния. Хотя существует критическая плотность массы, при которой наступает баланс между этими силами, такое состояние неустойчиво. В итоге в 1917 г. А. Эйнштейн спас положение тем, что предположил статичность Вселенной, но не ее конечность. Поэтому введение космологической постоянной оказалось необходимым. Позднее, во второй половине XX века, оказалось, что космологическая постоянная Эйнштейна тесно связана с физическим вакуумом, а сама Вселенная скорее всего является открытой и примерно вторую половину своего времени существования расширяется с небольшим ускорением.

В единой теории поля (теории единого взаимодействия) у А. Эйнштейна была возможность воспользоваться идеей Калуцы–Клейна, основанной на введении пятого измерения, по которому пространство-время свернуто и поля оказываются периодическими по этой координате. Далее, распространяя эту идею на пространства большей размерности, чем пять, он должен был прийти к открытию полевой калибровочной теории, сконструированной в 1954 г. Ч.Янгом (1922) и Р.Миллсом (1927-1999), и ее обобщениям. Позже оказалось, что это – части современных теорий сильного, слабого и электромагнитного взаимодействий. А. Эйнштейн, по-видимому, не мог предположить, что эти взаимодействия и гравитация могут быть как-то связаны, настолько они разные. В итоге лишь через десятилетия была создана единая теория электрослабого взаимодействия.

#### Заключение

В данной статье был сделан беглый обзор по тем основным моментам создания и открытий теории относительности, которые, на наш взгляд, оказали существенное влияние на развитие и становление современной физики и ее мировоззренческий характер. Надо отдать должное тому, что исследования как по специальной теории относительности, так и по общей теории относительности стимулировали физическую мысль и физический эксперимент на протяжении всего двадцатого столетия. В последние десятилетия ряд космологических открытий: реликтового электромагнитного излучения, пульсаров (включая двойные), квазаров, ячеистой крупномасштабной структуры Вселенной, черных дыр, а также попытки экспериментального обнаружения гравитационных волн — не только подтвердили выводы ОТО, но и вызвали большой интерес к этому чисто теоретическому ранее разделу физики. Кроме того, создание объединенной теории электрослабых взаимодействий возродило надежды на унификацию физических взаимодействий с участием гравитационных. На теории относительности зиждется современная экспериментальная физика: в ускорителях на встречных пучках (коллайдерах) используется возрастание массы и увеличение

<sup>33</sup> Путем «расщепления» гравитационных уравнений по степеням параметров, входящих в задачу, решение Керра-Ньюмена впервые было получено в [68].

времени жизни быстрых элементарных частиц, опыты с радиоактивными изотопами основаны на преобразовании массы в энергию.

По-видимому, первое серьезное использование теории относительности в пределах Солнечной системы в практических целях было сделано в 1988 г., когда проводились исследования кометы Галлея. Теория относительности была применена для навигационных целей по коррекции полета космических исследовательских аппаратов.

Другое современное применение специальной и общей теории относительности связано с определением поправок для вычисления географических координат на местности пользователей систем GLONASS и GPS (глобальной навигационной спутниковой системы), использующей систему околоземных спутников, которые оснащены атомными часами для точного измерения расстояний [70]. Доступные обычным пользователям GLONASS- и GPS-приемники определяют положение на местности с точностью до 30 м. Для того чтобы доступные обычным пользователям GLONASS- и GPS-приемники определяли положение на местности с точностью до 15 м, координаты положения тела необходимо вычислять с учетом релятивистской поправки. Например, спутник движется со скоростью 14 тыс. км/ч и тогда атомные часы отстают (по сравнению с земными) на 7 мкс за сутки. С другой стороны, средний радиус орбиты спутника составляет 26 тыс. км, то есть величина гравитационного потенциала примерно в 4 раза меньше, чем у поверхности Земли. Из-за этого атомные часы за сутки уходят («спешат») на 45 мкс. В итоге результирующее отставание за сутки составляет 38 мкс. Это означает необходимость введения поправки в навигационной спутниковой системе. В противном случае ошибка определения расстояния будет нарастать со скоростью не менее 11 км в сутки.

Несмотря на ряд неоспоримых достижений, связанных с теорией относительности, мы имеем еще много безответных вопросов, которые ждут своего решения в настоящем XXI веке.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Эйнштейн А. Собрание научных трудов. М.: Наука, 1965. Т. 1. 700 с.
2. Стикс Г. Дети относительности // В мире науки. 2004. № 12. С.24-29.
3. Сэже Э. Современная физика об единстве физических явлений. С.-Петербург: Изд-во И.И.Билибина, 1883. 150 с.
4. Баранов А.М. Основы теории относительности и гравитации: Математическое введение. Учеб. пособие. Красноярск : Краснояр. гос. ун-т, 1987. 91 с.
5. Баранов А.М., Игнатьев И.В. Специальная теория относительности в школьном курсе физики // Инновации в естественнонаучном образовании: Материалы VIII Всероссийск. (с международ. участием) научно-метод. конфер. КГПУ им.В.П.Астафьева 12-13 нояб. 2015. Красноярск: КГПУ, 2015. С. 177-179.
6. Галилей Г. Избранные труды. М.: Наука, 1964. Т.2. С.304.
7. Шварцшильд К. О гравитационном поле точечной массы в эйнштейновской теории // Альберт Эйнштейн и теория гравитации: Сборник статей к 100-летию со дня рождения А.Эйнштейна. М.: Мир, 1979. С.199-207.
8. Халс Р.А. Открытие двойного пульсара // УФН. 1994. Т.164. № 7. С.743-756.
9. Тейлор Дж.(мл.) Двойные пульсары и релятивистская гравитация // УФН. 1994. Т.164. № 7. С.757-764.
10. Уилл К.М. Двойной пульсар, гравитационные волны и Нобелевская премия // УФН. 1994. Т.164. № 7. С.765-773.
11. Калуца Т. К проблеме единства физики // Альберт Эйнштейн и теория гравитации: Сборник статей к 100-летию со дня рождения А.Эйнштейна. М.: Мир, 1979. С.529-534.
12. Баранов А.М. Алгебраическая классификация бивектора в плоском пространстве Калуцы и магнитный заряд // Известия вузов. Физика.1997. № 1. С.114-119.
13. Baranov A.M. Algebraic classification of bevector in Kaluza flat space and magnetic sharge // Russian Physics Journal, 1997. Vol. 40. № 1. P. 63-67.
14. Новиков И.Д., Фролов В.П. Физика черных дыр. М.: Наука, 1986. 327 с.
15. Чандрасекар С. Математическая теория черных дыр. М.: Мир, 1986. Ч.1,2.
16. Баранов А.М., Луконенко М.В., Тегай С.Ф., Баранов Д.А. О новых подходах к моделированию статических звезд в ОТО // Теория и эксперимент в современной физике: Юбил. сб. научн. статей. Красноярск: Краснояр. гос.ун-т, 2000. С.63-72.
17. Baranov A.M., Baranov D.A. On Approach to the Modeling of Static Stars // Gravitation & Cosmology. 1999. V.5 №.4 (Suppl.). P.17-12.

18. Баранов А.М. Осцилляторный подход к описанию статической звезды с нейтральной и заряженной жидкостью // Вестник Красноярского государственного университета (Физ.-мат. науки). 2002. № 1. С.5-12.
19. Баранов А.М., Власов З.В. Модель заряженного гравитирующего шара // Вестник Красноярского государственного университета (Физ.-мат. науки). 2005. № 1. С.4-11.
20. Баранов А.М., Прокофьев В.В. Моделирование статических звезд и метод Галеркина // Тезисы докл. XVI Междунар. летн. шк.-семинара по современ. пробл. теор. и мат. физики «Волга-16'2004» (XVI Петровские чтения, Казань, 22 июня-3 июля 2004 г.). Казань, 2004. С. 27.
21. Баранов А.М., Паклин Н.Н. О внутреннем источнике решения Вайдья // Известия вузов. Физика. 1988. № 3. С.36-39.
22. Baranov A.M., Paklin N.N. Internal source of the Vaidya solution // Russian Physics Journal. 1988. V. 31. № 3. P.203-206.
23. Баранов А.М., Паклин Н.Н. Радиационная сублимация однородной релятивистской звезды // Известия вузов. Физика. 1994. № 10. С.13-17.
24. Baranov A.M., Paklin N.N. Radiative Sublimation of the Homogeneous Relativistic Star // Russian Physics Journal. 1994. V. 37. № 10. P. 925-928.
25. Фридман А.А. Избранные труды. М.: Наука, 1966. 462 с.
26. Баранов А.М., Савельев Е.В. Сферически-симметричное светоподобное излучение и конформно-плоские пространства-времена // Известия вузов. Физика. 1984. № 7. С.32-35.
27. Baranov A.M., Saveljev E.V. Spherically symmetric lightlike radiation and conformally flat space-times // Russian Physics Journal. 1984. V. 27. № 7. P.569-572.
28. Баранов А.М., Жабрун И.В., Савельев Е.В. Точное решение для открытой Вселенной с вязкостью // Известия вузов. Физика. 1995. № 1. С.79-83.
29. Baranov A.M., Zhabrun I.V., Saveljev E.V. Exact solution for an open universe with viscosity // Russian Physics Journal. 1995. V. 38. № 1. P. 68-71.
30. Baranov A.M., Baranov D.A. Open Universe: Description by Mathieu Functions // Gravitation & Cosmology. – 2002. – V.8. – Suppl. II – P.12-13. Baranov A.M., Baranov D.A. Open Universe: Description by Mathieu Functions, URL: <http://ArXiv.org/gr-qc/1201.4432>
31. Фок В.А. Теория пространства, времени и тяготения. М.: Гос. изд-во физ.-мат. лит-ры, 1961. 563 с.
32. Мицкевич Н.В. Физические поля в общей теории относительности. М.: Наука, 1969. 326.
33. Баранов А.М., Савельев Е.В. Точные решения для конформно-плоской Вселенной. I. Эволюция модели как задача о движении частицы в силовом поле // Пространство, время и фундаментальные взаимодействия. 2014. № 1. С.37-46.
34. Баранов А.М., Савельев Е.В. Точные решения для конформно-плоской Вселенной. II. Линейное уравнение состояния и многомерные пространства-времена // Пространство, время и фундаментальные взаимодействия. 2014. № 2. С.19-30.
35. Баранов А.М., Савельев Е.В. Точные решения для конформно-плоской Вселенной. III. «Внутреннее» решение // Пространство, время и фундаментальные взаимодействия. 2014. № 4. С.59-70.
36. Баранов А.М., Савельев Е.В. Точные решения для конформно-плоской Вселенной. IV. Космологическая модель для «бутылочного» потенциала // Пространство, время и фундаментальные взаимодействия. 2015. № 3. С.61-66.
37. Baranov A.M. Saveljev E.V. Multidimensional conformal-flat space-times and a linear equation of state // Physical Interpretation of Relativity Theory: Proceedings of International Meeting. Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 29 June-02 July, 2015. Moscow : BMSTU, 2015. P. 81-100.
38. Линде А.Д. Физика элементарных частиц и инфляционная космология. М.: Наука, 1990. 275 с.
39. Петров А.З. О пространствах, определяющих поля тяготения // ДАН СССР. 1951. Т.81. № 2. С. 149-152.
40. Петров А.З. Классификация пространств, определяемых полями тяготения // Уч. зап. Казанск. ун-та. Казань: КГУ, 1954. Т.114. Кн.8. С.55.
41. Петров А.З. Новые методы в общей теории относительности. М.: Наука, 1966. 495 с.
42. Мицкевич Н.В., Баранов А.М., Луговцов В.В. Композиция типов пространств по классификации Петрова // Современные теоретические и экспериментальные проблемы теории относительности и гравитации: материалы докл. IV Всесоюз. конф. БГУ. Минск, 1976. С.195-200.
43. Баранов А.М., Луговцов В.В., Мицкевич Н.В. Композиция пространств второго вырожденного типа по Петрову // 150 лет геометрии Лобачевского: тез. докл. Всесозн. научн. конф. по неевклид. геометрии (Казань). М.: Изд-во ВИНТИ, 1976. С.21.
44. Баранов А.М. Возмущения пространств и классификация Петрова / Ун-т Дружбы народов им. П.Лумумбы. М., 1976. 8 с. Деп. в ВИНТИ 13.07.76, №2632-76.

45. Baranov A.M. The Catastrophe Theory, Petrov's Algebraic Classification and Gravitational Phase Transitions // *Gravitation and Cosmology*, 2011. V.17. № 2. P.170-172.
46. Баранов А.М. Алгебраическая классификация Петрова и фазовые переходы в гравитационных полях // *Физико-математические науки, Учен. зап. Казан. гос. ун-та. Сер. Физ.-матем. науки, Изд-во Казанского ун-та, Казань*, 2011, Т.153. № 3. С.29–41 .
47. Баранов А.М. Фазовые переходы в гравитационных и электромагнитных полях с точки зрения алгебраической классификации Петрова // *Пространство, время и фундаментальные взаимодействия*. 2012. № 1. С.15-28.
48. Baranov A.M. Catastrophe theory and algebraic classification of gravitational and electromagnetic fields // *Abstracts of Contributed Papers of 10th Intern. Confer. on GRG. Padova (Italy)*, 1983. V.1. P. 174–175.
49. Baranov A.M. Lightlike spinning source // *Abstracts of Contributed Papers of 9th Intern. Confer. on GRG. Jena(DDR)*. 1980. V.1. P.6.
50. 31. Баранов А.М. Светоподобный предел шварцшильдоподобного источника как катастрофа // *Гравитация и электромагнетизм*. Минск: Университетское, 1992. Вып. 5. С.27-31.
51. Баранов А.М. Светоподобный предел решения Керра и конструирование светоподобной нити // *Известия вузов. Физика*. 1994. № 10. С.64-69.
52. Baranov A.M. Light-cone limit of the Kerr solution and construction of the field of a light-cone filament // *Russian Physics Journal*. 1994. V. 37. № 10. P.971-975.
53. Баранов А.М. Светоподобные источники в общей теории относительности // *Вестник Красноярского государственного университета (Физико-математические науки)*. 2005. № 7. С.44–54.
54. Baranov A.M. Lightlike limits of massive particles in general relativity as catastrophes // *Proceedings of Intern. Conference "Physical Interpretations of Relativity Theory (PIRT-2005)" (Moscow (Russia): June-July, 2005).*—Moscow-Liverpool-Sunderland, 2005. – P. 116-122.
55. Baranov A.M. Gravitational fields of lightons and helixons in General Relativity // *Grav. Cosmol.* 2006. № 2-3. P.100–102; Baranov A.M. Gravitational Fields of Lightons and Helixons in General Relativity, URL: <http://ArXiv.org/gr-qc/1105.6327>
56. Baranov A.M. Lightons and Helixons as Lightlike Particles in General Relativity // *Journal of SibFU, series "Math. & Phys."*. 2011. V.4. №1. P.3-10; Baranov A.M. Lightons and Helixons as Lightlike Particles in General Relativity, URL: <http://ArXiv.org/gr-qc/1104.3775>
57. Баранов А.М. Светоподобные источники в общей теории относительности. Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2011. 112 с.
58. Баранов А.М., Паклин Н.Н. Генерирование и конструирование статических сферически-симметричных решений уравнений тяготения // *Известия вузов. Физика*. 1990. № 6. С. 5-9.
59. Baranov A.M., Paklin N.N. Generation and construction of statistical spherically symmetric solutions of the gravitational equations // *Russian Physics Journal*. 1990. V. 33. № 6. P. 463 - 467.
60. Baranov A.M., Osipov A.Yu. The Relativistic Fluid Ball as A Stratified Model of an Astrophysical Object // *Gravitation and Cosmology*. 2011. V.17. No. 2. P.173-175; Baranov A.M., Osipov A.Yu. The Relativistic Fluid Ball as A Stratified Model of an Astrophysical Object, URL: <http://ArXiv.org/gr-qc/1112.5812>
61. Баранов А.М. Алгебраическая классификация четырехмерных локально-евклидовых пространств // *Известия вузов. Физика*. 1994. № 11. С. 90-95.
62. Baranov A.M. Algebraic classification of four-dimensional locally Euclidean spaces // *Russian Physics Journal*. 1994. V. 37. № 11. P. 1087-1091.
63. Баранов А.М. Алгебраическая классификация гравитационных полей в 5-мерном пространстве-времени // *Известия вузов. Физика*. 1995. № 3. С. 73-78.
64. Baranov A.M. Algebraic classification of gravitational fields in five-dimensional space-time // *Russian Physics Journal*. 1995. V. 38. № 3. P. 284-288.
65. Kerr R.P., Schild A. Some algebraically degenerate solutions of Einstein's gravitational field equations // *Proceedings of symposia in Applied Mathematics*. 1965. V.17. P.199-209.
66. Керр Р. Гравитационное поле вращающейся массы как пример алгебраически специальной метрики // *Альберт Эйнштейн и теория гравитации*. М.: Мир, 1979. С. 208–211.
67. Newman E. T., Couch E., Chinnapared K., Exton A., Prakash A., Torrence R. J. Metric of a rotating charged mass // *Journal of Mathematical Physics*. 1965. V.6. № 6. P. 918-919.
68. Баранов А.М. О метрике Керра-Ньюмена // *Современные задачи в точных науках: сб. статей*. М.: УДН им.П.Лумумбы, 1975. Вып. 1. С.115-120.
69. Weinberg S. Einstein's Mistakes // *Physics Today*. 2005. November. P.31-35.
70. Ям Ф. Повсеместный Эйнштейн // *В мире науки*. 2004. №12 С.30-35.

Поступила в редакцию 01.02.2012



Баранов Александр Михайлович, д. ф.-м. н., профессор,  
Красноярский государственный педагогический университет им.В.П.Астафьева,  
660049, Россия, г.Красноярск, ул. Ады Лебедевой, 89 ;  
Сибирский государственный технологический университет, 660049, Россия, г.Красноярск, пр.Мира, 82.  
E-mail: alex\_m\_bar@mail.ru; Baranov@stfi.ru

©Баранов А.М.

**A. M. Baranov**

### Double Anniversary of the Theory of Relativity

**Keywords:** A.Einstein, theory of relativity, the base points of the general and special relativity history.

PACS: 04.20.-q; 03.30.+p

The theory of relativity, both General and Special, occupies a special place in a modern physics. This theory is a child of the XX century together with a quantum theory. She frequently boosts new scientific discoveries and justifying of fundamental foundations of physics. For the last hundred years the theory of relativity has made the considerable impact on all modern physics.

### REFERENCES

1. Einstein A. *Collected Papers*. Moscow: Nauka, 1965. V.1. 700 p. (in Russian).
2. Sticks H. The Children of Relativity, *In Science World*. 2004. No.12. pp.24-29 (in Russian).
3. Saiget E. *The Modern Physics about Unity of Physical Phenomenons*. St-Peterburg, 1883. 150 p.
4. Baranov A.M. *Foundations of the Theory of Relativity: Mathematical Introduction. Schoolbook*. Krasnoyarsk: KrasSU, 1987. 91 p.
5. Baranov A.M., Ignatjev I.V. Special theory of relativity in the secondary school physics *Innovations in the naturally-scientific education: Transaction of VIII All Russian (with Intern. Participation/) Sci.-Method. Confer. of KSPU after V.P.Astaf'ev 12-13 Nov.2015*, Krasnoyarsk, KSPU, 2015, pp.177-179.
6. Galilei G. *Opere Scelte*. Mosca: Nauka, 1964, t. 2, p.304 (in Russian).
7. Schwarzschild K. Über das Gravitationsfeld eines Massenpunktes nach der Einsteinschen Theorie *Sitzungsber. Preuss. Akad. Wiss. Berlin. ( Phys. Math.)*, 1916, ss.189-196.
8. Hulse R.A. The discovery of binary pulsar, *Physics-Uspekhi*, 1994, vol. 164, no. 7, pp.743-756.
9. Taylor J.H., Jr. The binary pulsars and relativistic gravitation, *Physics-Uspekhi*, 1994, vol.164, no.7, pp.757-764.
10. Will C.M. The binary pulsar, gravitational waves, and the Nobel prize, *Physics-Uspekhi*, 1994, vol.164, no.7, pp.765-773.
11. Kaluza Th. Zum Unitätsproblem in der Physik, *Sitzungsber. Preuss. Akad. Wiss. Berlin. (Math. Phys.)*, 1921, pp. 966-972.
12. Baranov A.M. Algebraic classification of bevector in Kaluza flat space and magnetic sharge, *Izvestiya Vuzov (Fizika)*, 1997, no 1, pp. 114-119
13. Baranov A.M. Algebraic classification of bevector in Kaluza flat space and magnetic sharge, *Russian Physics Journal*, 1997, vol. 40, no 1, pp. 63-67.
14. Novikov I.D., Frolov V.P. *The Physics of Black Holes*, Moscow: Nauka, 1986, 327 p. (in Russian).
15. Chandrasekhar S. *The Mathematical Theory of Black Hole*, Oxford University Press New-York, 1963.
16. Baranov A.M., Lukonenko M.V., Tegai S.F., Baranov D.A. *On New Approaches to the Modeling of Static Stars in GRG*, (The Theory and Experiment in the Modern Physics: The Anniversary Collected Papers), Krasnoyarsk: Krasnoyarsk State University, 2000, pp. 63-72.
17. Baranov A.M., Baranov D.A. On Approach to the Modeling of Static Stars, *Gravitation & Cosmology*, 1999, vol.5, no.4 (Suppl.).pp. 17-12.
18. Baranov A.M. The Oscillator Approach to Description of a Static Star with a Neutral and Charged Fluid, *Vestnik of Krasnoyarsk State University (Phys.-Math. Sciences)*, 2002, no.1, pp.5-12.
19. Baranov A.M., Vlasov Z.V. . Model of the Charged Gravitating Fluid Ball, *Vestnik of Krasnoyarsk State University (Phys.-Math. Sciences)*, 2005, no.1, pp.4-11.
20. Baranov A.M., Prokofjev V.V. The Modeling of Static Stars and the Galerkin method, *Abstracts of XVI Int. Summer School about Mod. Problems of Theor. and Math.Phys. "Volga-16" (XVI Petrov's Readings, Kazan, 2004)*, Kazan, 2004, p.27.
21. Baranov A.M., Paklin N.N. On Internal Source of the Vaidya Solution, *Izvestiya Vuzov (Fizika)*, 1988, no. 3, pp.36-39.
22. Baranov A.M., Paklin N.N. Internal source of the Vaidya solution *Russian Physics Journal*, 1988, vol. 31, no. 3, pp. 203-206.

23. Baranov A.M., Paklin N.N. Radiative Sublimation of the Homogeneous Relativistic Star, *Izvestiya Vuzov (Fizika)*, 1994, no. 10, pp.13-17.
24. Baranov A.M., Paklin N.N. Radiative Sublimation of the Homogeneous Relativistic Star, *Russian Physics Journal*, 1994, vol. 37, no.10, pp. 925-928.
25. Friedman A.A. *The Selected Papers*, Moscow, Nauka, 1966, 462 p. (in Russian).
25. Baranov A.M., Saveljev E.V. The Spherical Simmetric Lightlike Radiation and Conformally Flat Space-Times, *Izvestiya Vuzov (Fizika)*, 1984, no. 7, pp.32-35.
26. Baranov A.M., Saveljev E.V. Spherically symmetric lightlike radiation and conformally flat space-times, *Russian Physics Journal*, 1984, vol. 27. no. 7. pp.569-572.
27. Baranov A.M., Zhabrun I.V., Saveljev E.V. The Exact Solution for Open Universe with Viscosity, *Izvestiya Vuzov (Fizika)*, 1995, no. 1, pp.79-83.
28. Baranov A.M., Zhabrun I.V., Saveljev E.V. Exact solution for an open universe with viscosity *Russian Physics Journal*, 1995, vol. 38, no.1, pp. 68-71.
29. Baranov A.M., Baranov D.A. Open Universe: Description by Mathieu Functions, *Gravitation & Cosmology*, 2002, vol.8. (Suppl.II). P.12-13. Baranov A.M., Baranov D.A. Open Universe: Description by Mathieu Functions, <http://ArXiv.org/gr-qc/1201.4432>
30. Fock V.A. *The Theory of Space, Time and Gravitation*, New York: Pergamon, U.S.A., 1964 (2nd edition).
31. Mitskievich N.V. *Physical Fields in General Relativity*, Moscow: Nauka, 1969, 563 p. (in Russian).
32. Baranov A.M. Saveljev E.V. Exact solutions of the conformally flat Universe. I. The evolution of model as the problem about a particle movement in a force field, *Space, Time and Fundamental Interactions (STFI)*, 2014, no.1, pp.37-46.
33. Baranov A.M. Saveljev E.V. Exact solutions of the conformally flat Universe. II. The linear equation of state and multidimensional space-times, *Space, Time and Fundamental Interactions (STFI)*, 2014, no.2, pp.19-30.
34. Baranov A.M. Saveljev E.V. Exact solutions of the conformally flat Universe. III. The "interior"solution, *Space, Time and Fundamental Interactions (STFI)*, 2014, no.4, pp.59-70.
35. Baranov A.M. Saveljev E.V. Exact solutions of the conformally flat Universe. IV. Cosmological model with the "bottle" potential, *Space, Time and Fundamental Interactions (STFI)*, 2015, no.3, pp.61-66.
36. Baranov A.M. Saveljev E.V. Multidimensional conformal-flat space-times and a linear equation of state Physical Interpretation of Relativity Theory: Proceedings of International Meeting. Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 29 June-02 July, 2015, Moscow : BMSTU, 2015, pp. 81-100.
37. Linde A.D. *Physics of and the Inflationary Cosmology*, Moscow: Nauka, 1990, 275 p. (in Russian).
38. Petrov A.Z. On the Spaces defining fields of gravitation, *DAN USSR*, 1951, vol.81, no.8, pp.149-152.
39. Petrov A.Z. The classification of the spaces defined by fields of gravitation, *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta*, Kazan: KSU, 1954, vol.114, Book 8, pp.55.
40. Petrov A.Z. *New Methods in General Relativity*, Moscow: Nauka, 1966, 495 p.(in Russian).
41. Mitskevich N.V., Baranov A.M., Lugovtsov V.V. The composition of the space types on Petrov's classification, *The modern theoretical and experimental problems of the theory of a relativity and gravitation: Transactions of the IV Soviet confer.*, Belarus State University, Minsk, 1976, pp.195-200.
42. Baranov A.M., Lugovtsov V.V., Mitskevich N.V. Composition of spaces of the second degenerate type on Petrov, *Abstracts of Contributed Papers of All-Union Sci. Conf. on non-Euclidean Geometry Dedicated to the 150 Years Anniversary of the Lobachevsky Geometry (Kazan)*, Moscow, VINITI, 1976, p.21.
43. Baranov A.M. Perturbations of spaces and Petrov's classification, University of the People Friendship of name P.Lumumba, Moscow, 1976, 8 p. Deposited in VINITI 13.07.1976, no. 2632-76.
44. Baranov A.M. The Catastrophe Theory, Petrov's Algebraic Classification and Gravitational Phase Transitions, *Gravitation and Cosmology*, 2011, vol.17. no.2, pp.170-172.
45. Baranov A.M. Algebraic Classification of Petrov and Phase Transitions in Gravitational Fields, *Phys.-Math. Sciences , Uchenye Zapiski of Kazan State University. Ser. Phys-Math.*, Kazan: Kazan Univesity, 2011, vol.153, no.3, pp.29-41.
46. Baranov A.M. The Phase Transitions in Gravitational and Electromagnetic Fields with relation Petrov's Algebraic Classification *Space, Time and Fundamental Interactions (STFI)*, 2012, no.1, pp.15-28.
47. Baranov A.M. Catastrophe theory and algebraic classification of gravitational and electromagnetic fields, *Abstracts of Contributed Papers of 10th Intern. Confer. on GRG*, Padova, Italy, 1983, vol.1, pp. 174-175 .
48. Baranov A.M. Lightlike spinning source, *Abstracts of Contributed Papers of 9th Intern.Confer. on GRG. Jena(DDR)*, 1980, vol.1. p.6.

49. Baranov A.M. Lightlike limit of the Schwarzschildlike source as catastrophe, *Gravitation and electromagnetism*: Transactions, Belarus State University, Minsk, The university, 1992, no. 5, pp.27–31.
50. Baranov A.M. Lightlike Limit of Kerr's Solution and the Construction of lightlike pencil, *Izvestiya Vuzov (Fizika)*, 1994, no. 10, pp.64-69.
51. Baranov A.M. Light-cone limit of the Kerr solution and construction of the field of a light-cone filament *Russian Physics Journal*, 1994, vol. 37, no. 10, pp.971-975.
52. Baranov A.M. Lightlike sources in General Relativity, *Vestnik of Krasnoyarsk State University (Phys. and Math. Sci.)*, 2005, no.7, pp. 44–54.
53. Baranov A.M. Lightlike limits of massive particles in general relativity as catastrophes, *Proceedings of Intern. Conference "Physical Interpretations of Relativity Theory (PIRT-2005)" (Moscow (Russia): June-July, 2005)*, Moscow-Liverpool-Sunderland, 2005, pp. 116-122.
54. Baranov A.M. Gravitational fields of lightons and helixons in General Relativity, *Grav. Cosmol.*, 2006, no 2-3, pp.100–102; Baranov A.M. Gravitational Fields of Lightons and Helixons in General Relativity, [http://ArXiv.org /gr-qc/1105.6327](http://ArXiv.org/gr-qc/1105.6327)
56. Baranov A.M. Lightons and Helixons as Lightlike Particles in General Relativity *Journal of SibFU, series "Math. & Phys."*, 2011, vol.4, no.1, pp.3-10; Baranov A.M. Lightons and Helixons as Lightlike Particles in General Relativity, <http://ArXiv.org/gr-qc/1104.3775>
57. Baranov A.M. *Lightlike sources in General Relativity*, Krasnoyarsk, Siberian Federal University, 2011, 112 p. (in Russian).
58. Baranov A.M., Paklin N.N. Generation and construction of statistical spherically symmetric solutions of the gravitational equations, *Izvestiya Vuzov (Fizika)*, 1990, no. 6, pp.5-6.
59. Baranov A.M., Paklin N.N. Generation and construction of statistical spherically symmetric solutions of the gravitational equations, *Russian Physics Journal*, 1990, vol. 33, no. 6, pp. 463 - 467.
60. Baranov A.M., Osipov A.Yu. The Relativistic Fluid Ball as A Stratified Model of an Astrophysical Object *Gravitation and Cosmology*, 2011, vol.17, no. 2, pp.173-175. Baranov A.M., Osipov A.Yu. The Relativistic Fluid Ball as A Stratified Model of an Astrophysical Object, <http://ArXiv.org/gr-qc/1112.5812>
61. Baranov A.M. Algebraic classification of four-dimensional locally Euclidean spaces, *Izvestiya Vuzov (Fizika)*, 1994, no. 11, pp.90-95.
62. Baranov A.M. Algebraic classification of four-dimensional locally Euclidean spaces, *Russian Physics Journal*, 1994, vol. 37, no.11, pp. 1087-1091.
63. Baranov A.M. Algebraic classification of gravitational fields in five-dimensional space-time, *Izvestiya Vuzov (Fizika)*, 1995, no. 3, pp.73-78.
64. Baranov A.M. Algebraic classification of gravitational fields in five-dimensional space-time, *Russian Physics Journal*, 1995, vol. 38, no. 3, pp. 284-288.
65. Kerr R.P., Schild A. Some algebraically degenerate solutions of Einstein's gravitational field equations, *Proceedings of symposia in Applied Mathematics*, 1965, vol.17, pp.199-209.
66. Kerr R.P. Gravitational field of a spinning mass as an example of algebraically special metrics, *Physical Review Letters*, 1963, vol.11, pp. 237–238.
67. Newman E. T., Couch E., Chinnapared K., Exton A., Prakash A., Torrence R. J. Metric of a rotating charged mass, *Journal of Mathematical Physics*, 1965, vol.6, no. 6, pp. 918.
68. Baranov A.M. On Kerr-Newman's Metric, *The Modern problems in the exact sciences: selected articles*, Moscow, PFU after P.Lumumba, 1975, no.1, pp. 115-119.
69. Weinberg S. Einstein's Mistakes, *Physics Today*, 2005, November, pp.31-35.
70. Yam F. Einstein is everywhere, *In Science World*, 2004, no.12, pp.30-35 (in Russian).

Received 01.02.2012

Baranov Alexandre Mikhailovich, Doctor of Physics and Mathematics, Professor,  
Krasnoyarsk State Pedagogical University named after V.P.Astaf'ev,  
89 Ada Lebedeva St., Krasnoyarsk, 60049, Russia;  
Siberian State Technological University, 82 Mira Av., Krasnoyarsk, 60049, Russia.  
E-mail: alex\_m\_bar@mail.ru; Baranov@stfi.ru  
©Baranov A.M.