

ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

УДК 530.12, 530.16, 515.14, 537.8

Николенко А. Д.

**ВВЕДЕНИЕ
В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНУЮ И ПРАКТИЧЕСКУЮ ТЕМПОРОЛОГИЮ
(Окончание. Начало в № 3/12)**

*Институт исследований природы Времени
e-mail: alniko@ukr.net*

Обосновывается необходимость и актуальность формирования нового научного направления — экспериментальной и практической темпорологии. Существующие фундаментальные физические теории не отвечают на вопрос: что является причиной монотонного нарастания временной координаты у всех массивных физических объектов. Этот и другие вопросы, связанные с понятием времени, являются предметом исследования формирующейся научной дисциплины — теоретической темпорологии, т. е. науки о времени. В то же время в рамках различных отраслей физики уже накоплен экспериментальный материал о свойствах течения времени. По ряду направлений теоретические исследования вышли на практический уровень, в частности при конструировании ускорительных систем в экспериментальной физике, особенности течения времени учитываются в конструкциях аппаратов космического базирования для глобальных навигационных систем. В связи с этим уже возникли условия для обобщения такого материала в рамках общего научного направления, что позволит анализировать его с единых научных позиций. Формирование базы экспериментальных исследований в этой области окажет положительное влияние на планирование и проведение новых экспериментов по исследованию течения времени и его практическому использованию, станет основой для построения и экспериментальной проверки разрабатываемых теорий течения времени.

Ключевые слова: теория относительности; течение времени; управление течением времени; экспериментальная и практическая темпорология; экспериментальная физика.

Принцип соответствия в темпорологии

При формировании темпорологии как науки важным инструментом является принцип соответствия. Как известно, этот принцип утверждает, что любая новая самосогласованная научная теория не должна находиться в противоречии с классическими теориями в области их действия, и должна давать в этом случае те же следствия.

Он является удобным инструментом, который можно использовать для селекции выдвигаемых теоретических положений и отбора из них результатов, соответствующих действительности. Его применение позволяет ограничить выбор теми теоретическими положениями и уравнениями, которые соответствуют экспериментально проверенным положениям и соотношениям классических теорий пространства и времени (специальной и общей теориями относительности и квантовой теории) в области их применимости.

Если выполненные экспериментальные проверки действия известных факторов влияния на течение времени (релятивистского и гравитационного) дают точность, например, 0,00001%, то новая теория может включать новые факторы влияния при тех же физических условиях не более чем в пределах тех же 0,00001%. Другими словами, точность проведенных экспериментов указывает пределы, в которых либо могут быть изменены старые теории, либо построена новая.

Инструментарий (приборы времени)

Основой инструментария при проведении экспериментов в области темпорологии являются приборы для измерения интервалов времени, т. е. часы различных типов. В их основе лежит некоторый периодический процесс. Погрешность хода часов обычно характеризуют относительной величиной $\Delta T/T$ (здесь ΔT — изменение хода часов за время T), или аналогичным отношением $\Delta \nu/\nu$ (здесь $\Delta \nu$ — уход частоты ν). Часто используется понятие погрешности су-

точного хода часов: $86\,400 \Delta T/T$ сек.

«Начало научного мышления, извлечшего человека из животного состояния, связано с измерением времени» — отмечал историк античной техники Г. Дильс. Астрономия, зародившаяся еще в доисторический период, по сути дела была первой наукой о времени. Изначально ход времени определялся естественным способом — по смене времени года и по чередованию дня и ночи, которые задавались движением Земли вокруг Солнца и вращением Земли вокруг своей оси.

Впервые часы для измерения времени были созданы египетскими жрецами, вероятно, примерно от пяти до трех тысяч лет назад в Египте, и представляли собой вертикальныеobelisks (гномоны) возле храмов. Отбрасываемая ими тень указывала по соответствующим отметкам текущее время. В последующее время было создано много разнообразных типов часов. В Египте, Вавилоне, Греции получили распространение водяные часы, которые давали возможность узнать время в результате измерения количества воды, вытекающей из маленького отверстия. В Индии и Китае водяные часы работали по обратному принципу: время можно было узнать по тому, до какой степени погружался в воду пустой сосуд с отверстием в днище. Сам термин «течение времени», высказывания типа «много воды утекло с тех пор», «в докладе много воды» обязаны своим происхождением водяным часам. Последнее выражение пришло к нам из Древней Греции, так как регламент выступлений на общественных собраниях в то время контролировался с помощью водяных часов. Причем недобросовестные ораторы подкупали рабов, обслуживавших такие часы, чтобы те незаметно подливали в них воду и таким образом продлевали им время для выступления. Пожалуй, наиболее приятные часы были в ходу в Китае: в помещении тлела ароматическая палочка с нанесенными на нее полосками разного состава. По мере сгорания помещение наполнял запах, соответствующий текущему времени, и изменяющийся каждый час, что позволяло хозяину нюхом чувствовать течение времени.

Значительное распространение в средние века получили песочные часы в силу своей компактности и устойчивости хода по отношению к внешним воздействиям. Они стали одним из основных инструментов для морской навигации на парусном флоте и использовались для определения географической долготы местонахождения корабля. Для этого сравнивалось местное время, определяемое по солнцу и звездам, с временем по Гринвичу, которое отмерялось по песочным часам. Однако точность определения координат таким способом была недостаточной: ошибка в определении времени только на одну секунду давала ошибку при расчете местоположения судна на экваторе до 400 метров. Стоит отметить, что песочные часы обеспечивали точность измерений на уровне $\pm 15\text{--}20$ минут в сутки.

Первые механические часы предположительно были изобретены в X веке Римским Папой Сильвестром II (вместе с тем имеются некоторые сведения, которые можно интерпретировать как существование механических часов в Византии). Известно, что в 1288 году в Англии уже отсчитывали время железные Вестминстерские куранты. В 1657 голландский ученый Х. Гюйгенс изобрел маятник, что существенно увеличило точность хода механических часов. После ряда усовершенствований их механизма удалось понизить погрешность хода до нескольких секунд в неделю.



Рис. 8. Средневековые часы-календарь с надписью «Они показывают Начало и Конец Времени».

Проблема повышения точности часов особенно остро встала после катастрофы в 1702 году английской эскадры под командованием адмирала К. Шовела. В результате неточности хода часов возникли погрешности в расчетах местоположения кораблей, и пять кораблей эскадры в тумане налетели на Гилстонские рифы. 1600 моряков вместе со своим адмиралом заплатились жизнями за несовершенство навигационных приборов. Потрясенный этой трагедией, английский парламент объявил конкурс на создание высоко-

точных механических морских хронометров, пообещав победителю премию, эквивалентную 150 килограммам золота (это была одна из самых значительных премий за научно-техническое открытие, которая когда-либо назначалась). 60 лет шли поиски решения и битва за колоссальную награду. Конкурс в 1735 году выиграл йоркширский столяр Джон Гаррисон, который создал уникальный механический морской хронометр. После усовершенствования он имел погрешность 0,2 секунды в сутки. Испытывал хронометры знаменитый капитан Джеймс Кук, давший им высокую оценку. Хронометры конструкции Гаррисона применялись на флоте более 100 лет. По сути был достигнут предел точности хода механических часов.

Преодолеть это предел стало возможным с появлением электрических часов. В 1840–1847 годах англичанин Александр Бейн, создатель электромеханического телеграфа, сконструировал часы, основой которых стал маятник, раскачиваемый электромагнитом. Колебания маятника регистрировались с помощью контакта, импульсы с которого регистрировались и складывались электромагнитным счетчиком, связанным колесной передачей со стрелками на циферблате. Часы были усовершенствованы Уильямом Шорттом, который добился точности хода с погрешностью около 1 секунды в год.

Новый прорыв в точности хода был совершен в 1918 году с появлением кварцевых часов. Под воздействием электрического тока установленный в таких часах кристалл кварца (кварцевый резонатор) начинает генерировать колебания с постоянной частотой. При помощи электронного умножителя время колебаний суммируется и преобразуется в удобный для восприятия вид. В 1937 году кварцевые часы с точностью хода в две миллисекунды в сутки были установлены в Гринвичской обсерватории. Следует отметить, что солнечные часы не имели преимущества в точности хода перед кварцевыми часами вследствие того, что вращение Земли неравномерно — оно имеет определенную нестабильность на уровне 10^{-8} . Кроме того, в масштабах столетий оказывает влияние приливное трение, которое замедляет вращение Земли. В результате этого скорость ее вращения уменьшается на 2,3 мс/сутки/век. [29].

К 1967 году удалось значительно уменьшить размеры кварцевых часов и выпустить их первые наручные часы такого типа. К настоящему времени погрешность хода бытовых кварцевых часов находится на уровне -10/+20 сек. в месяц (этот показатель у бытовых механических часов швейцарской фирмы «Tissot» достигает -5/+15 сек. в сутки). Однако у кварцевых часов обнаружился недостаток: из-за внутренних изменений в кристалле у кварца со временем возникают изменения базовой частоты, что сказывается на точности хода.

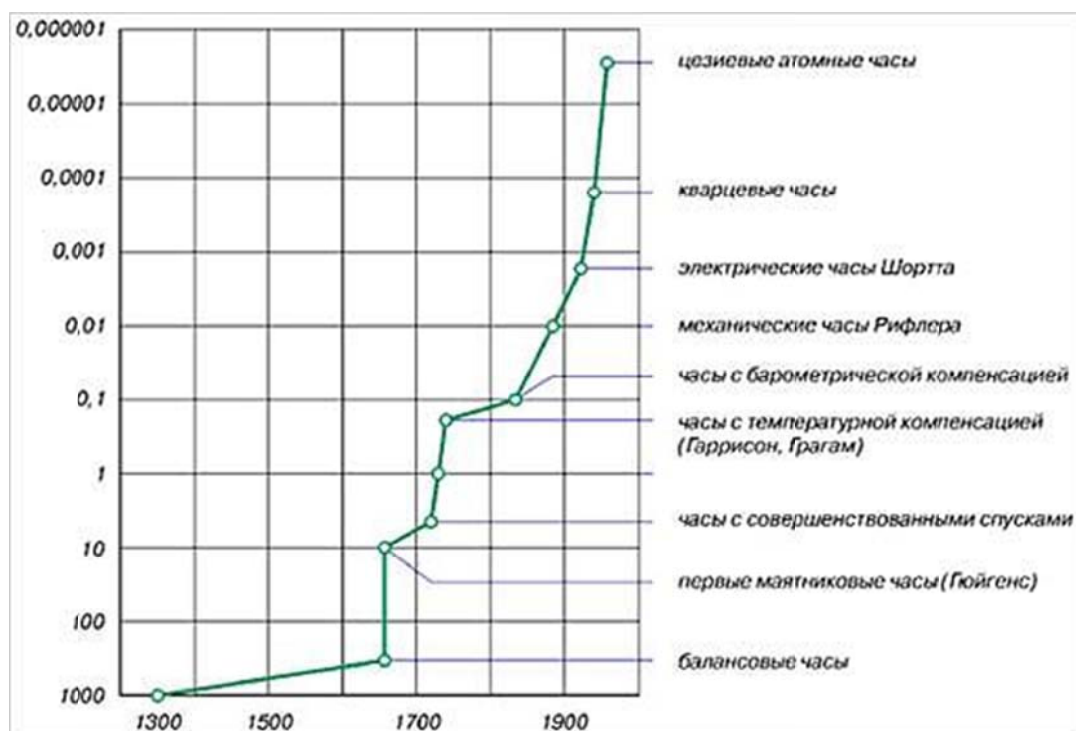


Рис. 9. Рост точности хронометрических приборов до 1950 года. По вертикали указана погрешность суточного хода.

Революционным достижением в деле повышения точности измерения времени стало создание атомных часов. В атомных часах (молекулярных, квантовых часах) в качестве периодического процесса используются собственные колебания атомов или молекул. Частота, поглощаемая или излучаемая атомами при их квантовых переходах из одного энергетического состояния в другое, регулирует ход часов. При этом она отличается высокой стабильностью и позволяет измерять время лучше, чем астрономические методы. Впервые часы такого типа были созданы в 1949 году Американским национальным бюро стандартов.

В первых атомных (точнее молекулярных) часах стандартом частоты служил молекулярный генератор на пучке молекул аммиака. Однако они оказались очень громоздкими и дорогими, да и их точность оставляла желать лучшего. Более удачной оказалась конструкция часов, в которой использовался атом цезия. В пятидесятых годах прошлого века Джон Шервуд и Роберт МакКракен создали первый цезиевый пучковый резонатор, и на его основе появились первые атомные цезиевые часы. Конструкция атомных часов оказалась настолько удачной, что было решено использовать их для определения единицы измерения времени — секунды. На XII Генеральной конференции по мерам и весам, а также Международным комитетом мер и весов в 1965 году было принято временное определение секунды, основанное на атомном стандарте частоты, а в 1967 году на XIII Генеральной конференции по мерам и весам, было утверждено определение секунды в следующем виде: «Секунда равна 9 192 631 770 периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133». В 1997 году это определение было уточнено добавлением требований касательно температуры и состояния покоя атома цезия. Принятое определение значительно облегчало работу Хранителей Времени, так как использовавшееся ранее вращение Земли при определении эталона времени оказалось неравномерным.

На сегодняшний день в качестве временной шкалы используется Всемирное Координационное Время (UTC, Universal Time Coordinated), основанное на определении секунды через квантовый резонанс в атоме цезия (Cs^{133}). Данная шкала формируется Международным бюро мер и весов (BIPM) путем объединения данных Хранителей Времени различных стран, а также данных Международной службы вращения Земли (IERS).

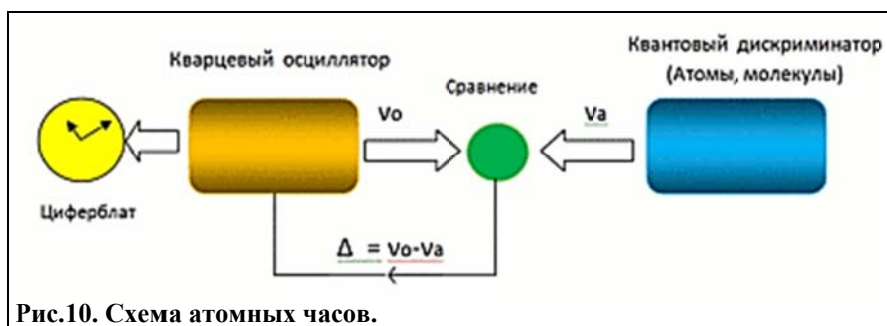
Следует отметить, что в 1983 году было дано новое определение эталона длины: «Метр — длина пути, который проходит свет в вакууме за $1/299792458$ секунды». Таким образом, эталон временной длительности — секунда оказывается первичным по отношению к эталону пространственной протяженности — метру.

Для того, чтобы уловить достаточно тонкие эффекты при экспериментах со временем, необходимы часы высокой точности, способные измерять сверхмалые временные интервалы. Таким часами в настоящее время являются атомные часы.

Здесь следует обратить внимание на то, что точность измерения времени в ходе экспериментов по определению не может превысить точности, задаваемого самим определением единицы измерения. В понятии «секунда» в международной системе единиц СИ, принятом Генеральной конференцией по мерам и весам в 1967 году, фигурирует излучение атома цезия. Поэтому формально ни одни часы не могут быть более точными, чем цезиевые. К такого рода часам относят цезиевые часы NIST-F1 (по ним определяют стандарт времени в США). Ошибку в одну секунду они накапливают за 100 миллионов лет.

Остановимся более подробно на конструкции атомных часов. Обычно они включают в себя следующие блоки: квантовый дискриминатор, кварцевый генератор, комплекс электроники.

Кварцевый генератор является автогенератором, в котором резонансными элементами являются пьезоэлектрические моды кварцевого кристалла. Он генерирует электромагнитные колебания с фиксированной частотой, равной, как правило, 10, 5, 2,5 МГц, с возможностью перестройки в небольших пределах [30]. С целью повышения его стабильности используют колебания атомов или молекул, для чего колебания,



генерируемые кварцевым генератором с частотой ν_0 , постоянно сравниваются с помощью частотно-фазового компаратора с частотой атомной линии ν_a , регистрируемой в квантовом дискриминаторе. При появлении разницы в фазе и частоте колебаний, схема обратной связи подстраивает частоту кварцевого генератора до требуемого значения, что позволяет повысить стабильность и точность хода таких часов.

Кроме цезиевых, большое распространение получили часы на основе рубидиевого стандарта частоты с оптической накачкой. В отличие от цезиевых, они менее чувствительны к вибрациям, не нуждаются в калибровке и более компактны. Их погрешность находится на уровне 10^{-11} .

Потребности науки и практики требуют дальнейшего наращивания стабильности хода и повышения разрешающей способности атомных часов, измерений все более малых временных интервалов и миниатюризации оборудования, что привело к разработке их новых моделей. Исследования в этой области ведут ученые в США, России, Франции, Китае, Израиле, Канаде и Швейцарии.

Активно работает в этом направлении Американский национальный институт стандартов и технологий (National Institute of Standards and Technology, NIST). В 2006 году исследователи из этого института под руководством Джима Бергквиста (Jim Bergquist) разработали часы, действующие на одном атоме ртути [31]. При переходах между энергетическими уровнями иона ртути генерируются фотоны видимого диапазона со стабильностью в 5 раз выше, чем микроволновое излучение цезия-133. В другой версии часов использовался бериллий.

В феврале 2010 года было опубликовано сообщение о появлении улучшенных версий экспериментальных часов, в котором ученые из NIST заменили ртуть и бериллий на алюминий и магний [32,33]. С. W. Chou, D. B. Hume, J. C. J. Koelemeij, D. J. Wineland и T. Rosenband создали модель хронометра «Quantum Logic Clock» на основе иона алюминия Al^{+} , которая позволила достигнуть беспрецедентной точности: ошибка в одну секунду накапливается за 3,7 миллиарда лет. Эти часы могут измерять временные интервалы почти в 100 раз меньшие, чем его предшественник на основе атома ртути. Следует отметить, что один из авторов, D. J. Wineland, стал лауреатом Нобелевской премии по физике за 2012 год за «развитие основополагающих экспериментальных методов измерения и манипуляций над одиночными квантовыми системами». Полученные им результаты непосредственно открыли возможность создания такого типа сверхточных часов, что, в свою очередь, позволило провести уникальные эксперименты по исследованию изменений темпов течения времени (см. ниже).

Интересная разработка атомных часов на основе положительного иона тория-229 была описана в журнале *Physical Review Letters* в марте 2012 года. Авторы разработки — Виктор Фламбаум (Victor Flambaum) из университета Нового Южного Уэльса (Австралия) и его коллеги из Технологического института Джорджии (США) и Университета Невады (США) полагают, что магнитно-дипольный переход в ядре в этом ионе можно использовать для отсчета времени. Роль маятника будет выполнять нейтрон в ядре тория. В результате того, что находящиеся в ядре нейтроны меньше подвержены внешним воздействиям, чем электроны в обычных атомных часах, открывается путь к созданию часов с фантастической точностью хода: их погрешность оценивается в одну двадцатую секунды за все время существования Вселенной, т. е. примерно за 14 миллиардов лет [34].

В связи с практической необходимостью оснащения мобильных устройств и аппаратов космического базирования высокоточными часами, возникла проблема создания портативных атомных часов.

Активные разработки компактных атомных часов ведутся в Физическом институте им. П. Н. Лебедева Российской академии наук. Сотрудниками Лаборатории стандартов частоты разработали квантовый дискриминатор для атомных часов объемом не более 10 см^3 . При этом за сутки они накапливают отклонение в одну миллионную долю секунды. Предполагается в 2012 году завершить опытно-конструкторские работы по созданию на этой основе портативных атомных часов, после чего одна из российских компаний начнет их серийное производство.

В США ученые NIST, а также мощные компании Honeywell, Symmetricom и Kenko приступили к разработке технологии массового производства малогабаритных атомных часов. В частности в начале 2011 г. американская компания Symmetricom объявила о коммерческом выпуске цезиевых атомных часов размером с небольшую микросхему. Их стабильность — $5 \cdot 10^{-11}$, масса — 35 г, потребляемая мощность — 115 мВт.

В начале 2010 года было объявлено о подписании контракта европейской компании

EADS Astrium с Европейским космическим агентством (ЕКА) о поставке на международную космическую станцию (МКС) атомных часов стоимостью 35 миллионов евро для проведения физических опытов. Контракт предполагает разработку комплекса космических атомных часов (ACES — Atomic Clock Ensemble in Space) для МКС и ее установку на борт станции при помощи японского грузового космического корабля HTV. Кроме того, будет создана наземная система микроволновой коммуникации с ACES. Основой системы станут французские часы Pharaos, работающие на охлажденном цезии, и космический квантовый генератор (мазер) на водороде (SHM), создание которого профинансировано Швейцарией. В результате будет образован космический атомный ансамбль часов. Показатели этих составляющих будут сопоставлены друг с другом, а также с национальными эталонами времени в разных странах. Предполагается, что погрешность этой системы составит одну секунду на триста миллионов лет.

Создание ACES — один из наиболее интересных физических экспериментов на борту МКС в условиях микрогравитации, который позволит провести множество опытов в сфере фундаментальной физики, в том числе опытов, посвященных проверке общей теории относительности и теории струн, экспериментов, непосредственно связанных с понятием и свойствами времени. Атомные часы предполагается вывести в космос в период 2013 — 2014 годов. Они будут размещены на внешней стороне европейского научного модуля Columbus, срок выполнения экспериментов составит по меньшей мере два года.

В 2012 появились сообщения NASA (США) о разработках в рамках проекта «The Deep Space Atomic Clock» бортовых высокоточных атомных часов на основе ионов ртути для космических аппаратов. Созданием таких часов занимаются исследователи из Лаборатории НАСА по изучению реактивного движения (Jet Propulsion Laboratory) в Пасадене, Калифорния. Часы предполагается использовать в системах дальней космической навигации. Практическая реализация проекта должна занять три года. Планируется вывод часов в космос на борту орбитального аппарата миссии «Technology Demonstration Missions». Стоимость проекта — порядка 175 миллионов долларов.

Важным вопросом при проведении экспериментов и практическом использовании темпоральных эффектов является синхронизация и сравнение показаний удаленных часов. В этом направлении удалось добиться значительных успехов в результате применения оптоволоконной связи между часами. В сентябрьском номере журнала Science за 2010 год [33] сообщалось о сравнении хода двух атомных часов, связанных между собой 75-метровым оптоволоконным кабелем во время проведения экспериментов в NIST (США). А в апреле 2012 года в этом же журнале сообщалось об использовании учеными из Германии для этих целей оптоволоконного кабеля длиной более 920 километров [35].

Интервалы времени

В настоящее время в экспериментах с реальным управлением (преобразованием) хода времени существенный интерес представляют малые временные интервалы, как правило, составляющие доли секунды. В связи с этим стоит привести общепринятые наименования таких временных интервалов. В системе СИ единицей времени является секунда. Ее подразделения именуются следующим образом:

1. *Миллисекунда* — 10^{-3} секунды. Свет успевает пробежать 300 км. Предел временного интервала, который можно обнаружить с помощью невооруженного взгляда.
2. *Микросекунда* — 10^{-6} секунды. Свет успевает пробежать 300 метров.
3. *Наносекунда* — 10^{-9} секунды. Свет успевает пробежать 30 см.
4. *Пикосекунда* — 10^{-12} секунды. Свет успевает пробежать 0,3 мм.
5. *Фемтосекунда* — 10^{-15} секунды. Свет успевает пробежать 0,0003 мм.
6. *Аттосекунда* — 10^{-18} секунды. Свет успевает пробежать $3 \cdot 10^{-7}$ мм, или 3 ангстрема. Заметим, что ангстрем — это приблизительный радиус орбиты электрона в невозбужденном атоме водорода.
7. *Зептосекунда* — 10^{-21} секунды. Свет успевает пробежать $3 \cdot 10^{-10}$ мм, или 0,003 ангстрема. Типичное время ядерных реакций.
8. *Йоктосекунда* — 10^{-24} секунды. Свет успевает пробежать $3 \cdot 10^{-13}$ мм. За три йоктосекунды свет сдвигается на расстояние, соответствующее диаметру протона. Топ-кварк, тяжелая элементарная частица, распадается примерно за 0,4 йоктосекунды.

Принципы и критерии формирования экспериментальной базы

Для того, чтобы сформировать экспериментальную базу темпорологии, необходимо из определенного объема существующих экспериментальных и наблюдательных данных найти и систематизировать те результаты, которые могут иметь трактовку с точки зрения темпорологии, и в дальнейшем пополнять ее новыми экспериментами и наблюдениями.

Цель физического эксперимента — подтвердить существование зависимости определенного вида (выбрать из нескольких допускаемых альтернатив), или только найти физические константы для известного закона, или то и другое вместе [36].

Всякий физический эксперимент сводится в конце концов к некоторым измерениям. Но полученные цифры редко являются конечной целью исследования. В большинстве случаев цель расчетов — не числа, а понимание. Всегда следует подумать, если измерения дадут ожидаемый результат, достаточно ли его для доказательства факта, для однозначного установления взаимосвязи явлений? Не допускает ли это результат еще и несколько других истолкований? Какими экспериментами и оценками эти альтернативные истолкования можно отвергнуть? Не было ли все результатом не искомого эффекта, а недочетов методики? Нужно четко представить, какие однозначные выводы удастся сделать, если будет получен ожидаемый результат.

При отборе и анализе экспериментального материала особое внимание должно быть уделено чистоте проведенных экспериментов. В сообщениях об экспериментах возможны три основных дефекта, которые могут поставить под сомнение полученные результаты [36]:

1. Несоответствие обещанной и фактически доступной точности при данных средствах измерения, в частности — не учтены некоторые источники ошибок.
2. Не учтены побочные факторы, влияние которых на результат сопоставимо с влиянием основных факторов.
3. Дефекты логики в выводах и оценках полученных результатов.

Особое внимание необходимо уделить стабильности и воспроизводимости полученных результатов, в том числе их проверке независимыми исследователями.

Важным этапом исследовательской работы является трактовка выполненных экспериментов и наблюдений. Везде нужно проводить четкую грань между объяснением (одним из многих возможных, которые пока не противоречат фактам) и доказательством (единственным объяснением, исключаяшем все альтернативы). В связи с этим желательно при подборе экспериментов выбирать и планировать такие, которые помогли бы сделать однозначный выбор между несколькими из правдоподобных объяснений. Этот поможет правильно определить направления дальнейших теоретических и экспериментальных поисков.

Если эксперимент противоречит существующей и убедительно подтвержденной экспериментами теории, то он нуждается в особо тщательной проверке независимыми экспериментаторами. Чтобы не увязнуть в многочисленных теориях и дискуссиях, посвященных времени и продолжающихся уже более 2,5 тысяч лет, при формировании экспериментальной базы темпорологии нас будут интересовать только бесспорные достижения экспериментальной физики в этой области. На этой основе и формируется база экспериментальной темпорологии.

Экспериментальная база темпорологии

Формирование и систематизация экспериментальной базы проводится в рамках работы лаборатории-кафедры внепространственной механики Института исследований природы времени. Ряд экспериментов впоследствии проверялись независимыми экспериментаторами. Такие проверочные эксперименты включаются в базу в том случае, если они дали результат, более интересный по сравнению с оригинальным экспериментом. Во всех экспериментах выделен их темпоральный аспект.

Группа экспериментов А

Предмет исследования: фактор влияния — относительная скорость.

Сущность исследуемого явления: относительное движение объекта вызывает замедление течения времени в соответствии с релятивистской формулой (8).

Проверяемые следствия: в частности, замедление течения времени для быстрораспадающихся частиц вызывает наблюдаемое возрастание времени их жизни и связанное с этим увеличение длины их свободного пробега (до момента распада); происходит смещение спектров в красную сторону, проявляются релятивистский эффект Доплера и ситуации типа пара-

докса близнецов.

Цель экспериментов: изучение темпов течения времени движущихся объектов по сравнению с темпами течения времени в лабораторной системе координат и проверка указанной зависимости между ними.

1932 г.

Авторы и место проведения эксперимента: Кеннеди Р. (Kennedy R. J.), Торндайк Э. (Thorndike E. M.)

Описание эксперимента. Фундаментальный эксперимент по проверке СТО. Нулевой результат опыта Майкельсона-Морли, приведший к кризису в физике, мог быть объяснен или с помощью гипотезы Лоренца о сокращении длины движущихся предметов (лоренцева теория — ЛТ), или с помощью СТО Эйнштейна. Предложение Лоренца сохраняло гипотезу эфира, для решения Эйнштейна эта гипотеза была не нужна. Обе теории давали нулевой результат в опыте Майкельсона-Морли из-за того, что длины плеч интерферометра в экспериментальной установке были равны. Однако при различии длин плеч интерферометра симметрия между этими теориями нарушалась: по теории Лоренца для интерферометра с несимметричными плечами в результате воздействия эфирного ветра должен был возникать сдвиг полос в ночное время по отношению к дневному, в то же время как теория Эйнштейна учитывала возникающее в ходе эксперимента замедление времени, вследствие чего сдвиг полос оставался нулевым. Выяснить эту ситуацию и стало задачей эксперимента Кеннеди-Торндайка.

Можно сказать, что это была первая попытка экспериментально исследовать свойства течения времени, результат которой давал возможность сделать выбор между двумя революционными теориями того времени — ЛТ и СТО.

Свет от ртутной лампы S проходил через щель S_1 , после чего — через коллиматор L_1 . Полученный плоскопараллельный пучок света с помощью призмы P разлагался в спектр, из которого выделялась зеленая линия с высокой когерентностью. Пучок фокусировался линзой L_2 , пропускался через слой воды C , для отфильтровывания теплового излучения, затем чтобы исключить поляризационные эффекты в интерференции и отражении пропускался через поляризатор N . Далее приготовленный пучок света входил через прозрачное окошко в вакуумную камеру V и после дополнительной фокусировки падал на полупрозрачную пластину M_1 под углом Брюстера, под которым поляризованный свет отражался только от посеребренной поверхности этой пластинки, но не от ее стеклянной поверхности. Два когерентных друг другу пучка, полученные после прохождения через M_1 , проходили пути до зеркал M_3 и M_4 , после чего снова отражались от полупрозрачной пластины M_1 . Далее они выходили из вакуумной камеры через окошко W и интерферировали, оставляя след на фотопластинке H . Оболочка вакуумной камеры была заполнена водой, температура которой поддерживалась постоянной с точностью до тысячной доли градуса (чтобы избежать влияния деформации оптических элементов конструкции на интерференцию).

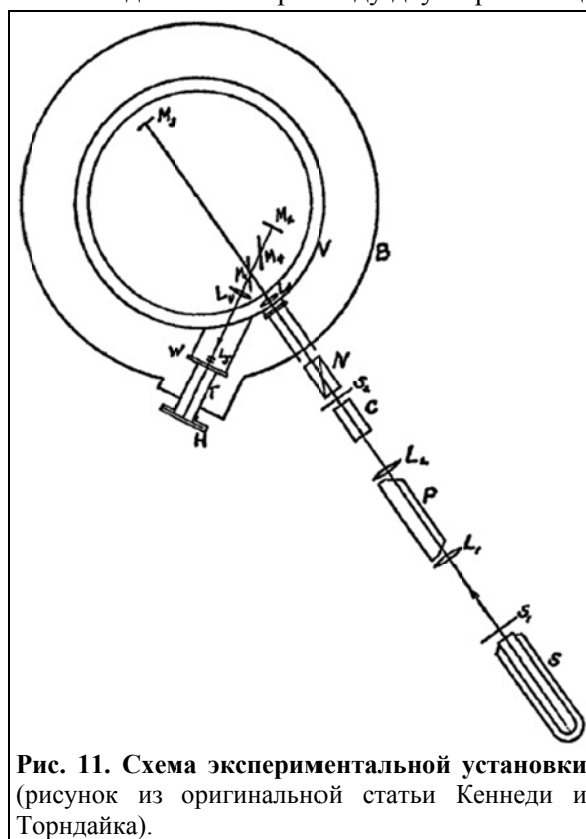


Рис. 11. Схема экспериментальной установки (рисунок из оригинальной статьи Кеннеди и Торндайка).

В течение полугода была получена серия из 300 снимков интерференционной картины.

Результаты эксперимента: В эксперименте был получен нулевой результат, подтверждающий справедливость специальной теории относительности Эйнштейна, в том числе факт замедления хода времени, согласующийся с формулой (8).

Источники: [37,38].

1938–1941 гг.

Авторы и место проведения эксперимента: Айвс (Ives H. E.) и Стилуэлл (Stilwell G. R.).

Описание эксперимента. Экспериментаторы выполнили спектральные опыты с пучками водородных атомов, находившихся в возбужденных электронных состояниях. Атомы, входившие в состав молекулярных водородных ионов H_2^+ и H_3^+ , ускорялись в сильном электрическом поле. Как продукт распада ионов образовывался атомарный водород. Скорость его атомов была равна $\beta = v/c = 0,005$. В ходе экспериментов определялась смещение средней длины волны отдельной спектральной линии, испускаемой движущимися атомами водорода.



Рис. 12. Схема эксперимента Айвса и Стилуэлла.

Результаты эксперимента: авторы эксперимента показали, что частоты, испускаемые ионами, зависели от их движения. Наблюдаемое смещение средней длины волны было равно $0,074 \text{ \AA}$, в то время как при расчете по релятивистской формуле для величины β , определяемой по значению ускоряющего потенциала, приложенного к исходным ионам, получается смещение $0,072 \text{ \AA}$. Эти результаты согласуются с СТО с погрешностью порядка 1%.

Источники: [39,40].

Дополнение: Значительно более высокая точность была достигнута в более поздних экспериментах с использованием ионов лития: Grieser *et al.* 1994 г., скорость ионов $0,064c$, достигнутая точность 10^{-6} [41]; Saathoff *et al.* 2003 г., скорость ионов $0,064c$, достигнутая точность $2,2 \cdot 10^{-7}$ [42]; Reinhardt *et al.* 2007 г., скорость ионов $0,064c$, достигнутая точность $8,4 \cdot 10^{-8}$ [43]; Novotny *et al.* 2009 г., скорость ионов $0,34c$, достигнутая точность $1,3 \cdot 10^{-6}$ [44]. Результаты этих экспериментов не обнаружили расхождений со специальной теорией относительности и подтвердили эффект релятивистского замедления времени с указанной точностью.

1940–1941 гг.

Авторы и место проведения эксперимента: Вильямс (Williams) и Робертс (Roberts).

Описание эксперимента. В качестве движущегося тела в эксперименте использовались мезоны, находившиеся в ливне космических лучей. Время жизни мезонов и соответствующие им пути свободного пробега при нерелятивистском расчете составляют:

- для μ — мезонов (мюонов) $\tau_0 = 2,2 \cdot 10^{-6} \text{ с}$; $l_0 = 600 \text{ м}$;
- для π — мезонов (пионов) $\tau_0 = 2,56 \cdot 10^{-6} \text{ с}$; $l_0 = 7,68 \text{ м}$;

Мезоны зарождаются в верхних слоях атмосферы (мюоны — на высоте $H \approx 18000 \text{ м}$, пионы — на высоте $H \approx 46200 \text{ м}$). Обнаружение их в нижних слоях атмосферы говорит о значительном увеличении их пробега (что связано с увеличением времени жизни движущихся мезонов). Регистрация мезонов дает возможность произвести расчеты по указанной релятивистской формуле. Наблюдения самопроизвольного распада мезонов производились в камере Вильсона.

Результаты эксперимента: Результаты согласуются с СТО, замедление времени подтверждается.

Источники: [45].

1940–1941 гг.

Авторы и место проведения эксперимента: Бруно Росси (Rossi B.) и Холл (Hall D. B.), эксперименты проводились в Денвере, Колорадо (США).

Описание эксперимента. Проводилось исследование релятивистских мюонов, движущихся в атмосфере со скоростями выше 99,94 % скорости света, и изучался их распад. С помощью сцинтилляционного детектора экспериментаторы сравнивали потоки мюонов на вершине горы высотой 1,9 км и на уровне моря. Число зарегистрированных мюонов на вершине находилось на уровне 560 мюонов в час, внизу — 422 мюона в час. Полученный результат стал воз-

можен вследствие релятивистского увеличения времени жизни быстрораспадающихся мюонов, что позволило им преодолеть такое большое расстояние между детекторами.

Результаты эксперимента: Качественно подтверждено замедление времени, которое привело к регистрации этих частиц в нижних слоях атмосферы. Результаты согласуются с СТО.

Источники: [46].

1940–1941 гг.

Авторы и место проведения эксперимента: Оже и Маз (Maze); Маз и Шаминад (Chaminade); Фреон, Маз.

Описание эксперимента. Проводилось исследование мезонов в ливнях космических лучей, регистрировались параметры их самопроизвольного распада.

Результаты эксперимента: Результаты согласуются с СТО, замедление времени подтверждается.

Источники: [47].

1952 г.

Авторы и место проведения эксперимента: Дарбин (R. P. Durbin), Лоар (H. H. Loar) и Хевенс (W. W. Havens), эксперименты проводились в Радиационной лаборатории Лоуренса.

Описание эксперимента. В лаборатории замедление времени для движущихся π^+ -мезонов и π^- -мезонов измерялось методами, разработанными для измерения времени жизни возбужденных состояний атомов и ядер. Путем отклонения в магнитном поле из пучка π -мезонов выделялись мезоны с одинаковым импульсом: энергией 73 Мэв и скоростью 0,75c. Мезоны пролетали с незначительной потерей энергии сквозь тонкий сцинтиллятор, который регистрировал число прошедших мезонов N_0 . Измерялось число распадов на отрезке пути x . В лабораторной системе отсчета мезоны имеют время жизни τ_L . Они распадаются по закону $N(t) = N_0 \exp(-t/\tau_L)$. Время t выражается через путь x , пройденный со скоростью v . Число мезонов на расстоянии x равно $N(x) = N_0 \exp(-x/v\tau_L)$. Это число регистрируется счетчиком. Принимается, что вероятность попадания μ -мезонов от распада π -мезонов в счетчик пренебрежимо мала. Из снижения числа мезонов на отрезке x определяется средний путь $v\tau_L$, на котором число мезонов убывает в e раз. Для π^+ -мезонов со скоростью 0,75c распадная длина равна 8,5 м. Релятивистская формула замедления времени $\tau_L = \tau(1-v^2/c^2)^{-1/2}$ проверялась путем сравнения измеренного в данном опыте времени жизни τ_L с временем жизни покоящегося π -мезона τ .

Результаты эксперимента: Опыты с π^+ -мезонами, а также с π^- -мезонами при энергии 73 Мэв подтвердили релятивистскую формулу (8) с погрешностью в пределах 8%.

Источники: [48,49].

1959 г.

Авторы и место проведения эксперимента: Барроуз (H. C. Burrowes) с коллегами.

Описание эксперимента. Опыты по изменению времени жизни движущихся K^+ и K^- мезонов по схеме экспериментов Дарбина при энергии 1000 Мэв.

Результаты эксперимента: релятивистская формула (8) по изменению темпов течения времени для движущихся мезонов подтверждена с точностью до 5%.

Источники: [50].

1960 г.

Авторы и место проведения эксперимента: Хэй (Hay, H. J.) с коллегами.

Описание эксперимента. Доказательство релятивистского замедления времени получено из экспериментов с вращающимся источником мёссбауэровского излучения. Изучалось поглощение γ -квантов, изучаемых источником, помещенным в центр вращающегося диска. Поглотитель находился на ободе. В результате проявлялся поперечный эффект Доплера.

Результаты эксперимента: Подтверждено релятивистское замедление времени.

Источники: [51].

Дополнение: эксперименты с мёссбауэровским излучением были проведены Champeneу и др. в 1963 и 1965 гг. [52,53], Kündig в 1963 г. [54]. Их результаты не обнаружили расхождений со специальной теорией относительности и подтвердили эффект релятивистского замедления времени с точностью до 10^{-5} .

1963 г.

Авторы и место проведения эксперимента: Фриш (Frisch, D. H.) и Смит (Smith, J. H.), колледж Смита, Нортampton, Массачусетс (США).

Описание эксперимента. Атмосферный эксперимент. Мюоны, возникающие как вторичные частицы из взаимодействия первичных космических лучей с верхними слоями атмосферы, перемещаются с очень высокой скоростью. Изучение мюонного потока на горе относительно измеренного внизу дает возможность измерить замедление времени для движущихся мюонов. В эксперименте исследовались пучки мюонов, движущихся со скоростью $0,995c$, которые пересекали детекторы на высоте 1907 метров на горе Вашингтон и в Кембридже (Массачусетс). Измерялись шесть потоков с интенсивностью примерно 563 мюона в час, из которых около 412 мюонов в час регистрировались в Кембридже. Зафиксирован фактор замедления времени $8,8 \pm 0,8$ в хорошем согласии с предсказанным $8,4 \pm 2$.

Результаты эксперимента: Результаты согласуются с СТО.

Источники: [55].

Дополнение: Позднее

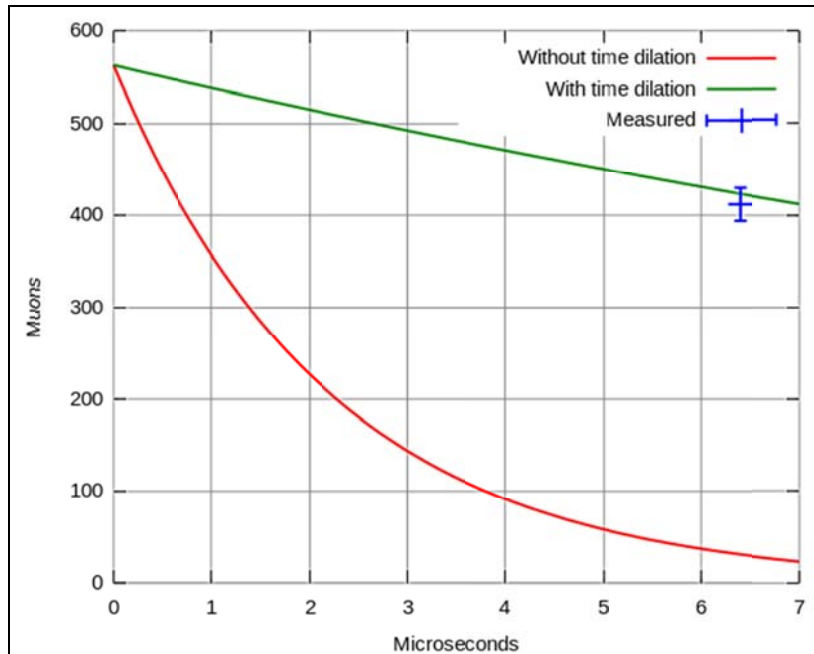


Рис. 13. Замедление времени в релятивистском пучке мюонов. Верхняя линия — экспериментально подтвержденная с замедлением времени, нижняя кривая — для случая, если бы замедления времени не было.

были проведены аналогичные эксперименты: в 1991 году Easwar N., Macintire D. A. [56] и в 2006 году Coan T, Liu T, Ye J. [57,58]. Их результаты не обнаружили расхождений со специальной теорией относительности и подтвердили эффект релятивистского замедления времени.

1971 г.

Авторы и место проведения эксперимента: Дж. Хафеле (J. C. Hafele) и Ричард Китинг (Richard E. Keating).

Описание эксперимента. В октябре 1971 года Дж. Хафеле и Ричард Китинг (Richard E. Keating) дважды облетели вокруг света, сначала на восток, затем на запад, с четырьмя комплектами цезиевых атомных часов, после чего сравнили «путешествовавшие» часы с часами, оставшимися в Военно-морской обсерватории США (ВМО США). Перелёты выполнялись на обычных авиалайнерах регулярными коммерческими авиарейсами. Перелёт в восточном направлении начался в 19:30 UTC 4 октября 1971 и закончился в 12:55 UTC 7 октября 1971 (продолжительность 65,42 часа); маршрут ВМО США — Вашингтон — Лондон — Франкфурт — Стамбул — Бейрут — Тегеран — Нью-Дели — Бангкок — Гонконг — Токио — Гонолулу — Лос-Анджелес — Даллас — Вашингтон — ВМО США. Средняя скорость относительно поверхности земли составляла 243 м/с, средняя высота над уровнем моря 8,90 км, средняя широта по маршруту 34° с. ш. В западном направлении перелёт был начат в 19:40 UTC 13 октября 1971, закончился через 80,33 часа в 04:00 UTC 17 октября 1971. Маршрут: ВМО США — Вашингтон — Лос-Анджелес — Гонолулу — Гуам — Окинава — Тайбэй — Гонконг — Бангкок — Бомбей — Тель-Авив — Афины — Рим — Париж — Шаннон — Бостон — Вашингтон — ВМО США. В этом направлении средняя скорость составляла 218 м/с, средняя высота 9,36 км, средняя широта по маршруту 31° с. ш. Во время перелётов выполнялся мониторинг условий окружающей среды (температуры, влажности и давления воздуха), а также измерялось магнитное поле. В дальнейшем было продемонстрировано, что изменение этих условий в лаборатории не влияет в пределах ошибок на ход использовавшихся в эксперименте часов. Навига-

ционную информацию о параметрах каждого перелёта предоставляли пилоты.

Согласно специальной теории относительности, скорость хода часов наибольшая для того наблюдателя, для которого они находятся в состоянии покоя. В системе отсчёта, в которой часы не покоятся, они идут медленнее, и этот эффект пропорционален квадрату скорости. Скорость экватора Земли, обусловленная ее суточным вращением, равна: $v_0 = 2\pi R_3 / 24 \text{ часа} \approx 450 \text{ м/с}$ и поэтому сравнима со скоростями движения самолетов относительно земной поверхности. В системе отсчёта, покоящейся относительно центра Земли, часы на борту самолета, движущегося на восток (в направлении вращения Земли), идут медленнее, чем часы, которые остаются на поверхности, а часы на борту самолета, движущегося в западном направлении (против вращения Земли), идут быстрее.

В расчетах учитывалось изменение хода часов в связи с увеличением гравитационного потенциала (ОТО). Поскольку самолеты летели приблизительно на одной и той же высоте в обоих направлениях, этот эффект мало влияет на разность хода двух «путешествовавших» часов, однако он вызывает их уход от показаний часов на поверхности земли.

Направление полета	Разность показаний часов по сравнению с Землей в наносекундах			
	теоретическая			измеренная
	гравитационная	релятивистская	суммарная	
На Восток	144±14	-184±18	-40±23	-59±10
На Запад	179±18	96±10	275±21	273±7

Уравнения, с помощью которых описывался эксперимент:

Разность показаний часов $\Delta\tau$:

$$\Delta\tau = \Delta\tau_v + \Delta\tau_g + \Delta\tau_s.$$

Влияние релятивистского фактора на ход времени:

$$\Delta\tau_v = -\frac{1}{2c^2} \sum_{i=1}^k v_i^2 \Delta\tau_i.$$

Влияние гравитационного фактора на ход времени:

$$\Delta\tau_g = \frac{g}{c^2} \sum_{i=1}^k (h_i - h_0) \Delta\tau_i.$$

Эффект Саньяка:

$$\Delta\tau_s = -\frac{\omega}{c^2} \sum_{i=1}^k R_i^2 \cos^2 \varphi_i \Delta\lambda_i.$$

Здесь h — высота, v — скорость, ω — угловая скорость Земли, а $\Delta\tau_i$ и $\Delta\lambda_i$ представляют собой продолжительность i -го участка полёта и изменение географической долготы для него; R_i — расстояние от центра Земли на этом участке, φ_i — географическая широта; g — ускорение свободного падения, c — скорость света. Эффекты суммируются в течение всего полёта, так как параметры со временем изменяются.

Результаты эксперимента: подтверждено изменение хода времени в соответствии с теорией относительности. Несмотря на отличие в ходе часов менее чем на микросекунду, эффект вполне наблюдаем и находится сильно выше уровня шума, поскольку накапливается с увеличением времени, проведенном в полете. Впервые было получено прямое подтверждение того, что ситуации, приводящие к парадоксу близнецов, реализуются на практике.

Источники: [59,60].

Дополнение: Эксперименты повторялись в **1996** году и в **2005** году. Их результаты не обнаружили расхождений со специальной теорией относительности и подтвердили эффект релятивистского замедления времени.

1974 г.

Авторы и место проведения эксперимента: Комбли (Combley F.), Пикассо (Picasso E.), ЦЕРН (CERN).

Описание эксперимента. Релятивистское замедление времени было уверенно зарегистрировано с помощью μ -мезонного накопительного кольца в ЦЕРНе. Собственное время жизни μ -мезона $\tau = 2,2 \cdot 10^{-6} \text{ с}$. В церновском эксперименте «g2» μ -мезоны вводились в кольцо радиусом

5 метров и удерживались там на почти круговых орбитах магнитным полем. Они находились там 150 мкс, сделав более 10^5 оборотов на орбите. Измеренное в лаборатории время жизни оказалось равным $26,37 \pm 0,05$ мкс, что практически полностью совпало с расчетами, сделанными в соответствии с СТО по формуле (8) — 26,69 мкс. Т. е. время жизни движущихся μ -мезонов выросло в 12 раз. Расхождение между вычисленным и полученным в эксперименте временем жизни согласуется с расчетом эффекта потери μ -мезонов при движении по орбите.

Результаты эксперимента: Подтверждают замедление течения времени в соответствии с формулой (8).

Источники: [61,62].

1977 г.

Авторы и место проведения эксперимента: Бэйли (Bailey J.) и др. ЦЕРН (CERN Storage-Ring experiment).

Описание эксперимента. В циклическом ускорителе CERN мюоны разгонялись до скорости $v = 0,9994c$. В результате было зафиксировано, что время жизни мюонов в пределах относительной экспериментальной ошибки $2 \cdot 10^{-3}$ замедлилось в 29 раз в соответствии с формулой (8). При 7 метровом радиусе кольца ускорителя, ускорение мюонов достигало значений $a \approx 10^{18} \cdot g$, где g — ускорение свободного падения. Этот эксперимент продемонстрировал также независимость замедления времени объекта от его ускорения.

Результаты эксперимента: Подтверждают замедление течения времени в соответствии с формулой (8).

Источники: [63,64].

Дополнение: Иные эксперименты с мюонами: Lundy 1962 г. [65], Meyer *et al.* 1963 г. [66], Eckhause *et al.* 1963 г. [67], Balandin *et al.* 1974 г. [68]; с каонами: Nordin 1961 г. [69], Boyarski *et al.* 1962 г. [70], Lobkowicz *et al.* 1969 г. [71], Ott *et al.* 1971 г. [72], Skjeggstad *et al.* 1971 г. [73], Geweniger *et al.* 1974 г. [74], Carithers *et al.* 1975 г. [75]; с пионами: Eckhause *et al.* 1965 г. [76], Nordberg *et al.* 1967 г. [77], Greenburg *et al.* 1969 г. [78], Ayres *et al.* 1971 г. [79] не обнаружили расхождений со специальной теорией относительности и подтвердили эффект релятивистского замедления времени.

2007 г.

Авторы и место проведения эксперимента: проводил эксперимент Gerald Gwinner, физик из университета Манитобы, Канада, с коллегами, эксперимент был поставлен на ускорителе частиц в институте Макса Планка в Гейдельберге (Германия).

Описание эксперимента. Используя ускоритель частиц в институте Макса Планка в Гейдельберге (Германия), ученые разогнали ионы лития-7 до скорости, составляющей 6,3% от скорости света (19 000 км/сек), привели их при помощи лазера в возбужденное состояние и измеряли частоту излучения.

Результаты эксперимента: Подтверждено релятивистское замедление времени в соответствии соотношениями СТО. Погрешность результатов по сравнению с тем, что предсказывает СТО, составила менее одной десятиллионной (или 0,00001%). По утверждениям исследователей, их эксперимент в десять раз точнее лучших из проводившихся ранее и в сто тысяч раз точнее эксперимента 1938 года (Айвса и Стиллвелла).

Источники: [80].

2010 г.

Авторы и место проведения эксперимента: C. W. Chou, D. B. Hume, T. Rosenband, D. J. Wineland, NIST (США).

Описание эксперимента. Специалисты NIST (США) провели серию экспериментов по релятивистскому замедлению времени. В экспериментах использовались созданные в этом институте сверхточные часы на основе иона алюминия. Двое часов были расположены в различных лабораториях в NIST и связаны оптическим волокном 75 метров длиной. Экспериментаторы вращали ионную ловушку со скоростью порядка 4 метра в секунду (36 км/час), чего оказалось достаточно для фиксации релятивистского замедления времени и подтверждения формулы (8) — скорость хода часов замедлилась на 2 фемтосекунды за секунду. Впервые благодаря использованию сверхточных атомных часов (с относительной погрешностью не более 10^{-17}) замедление времени было зафиксировано на малых скоростях, сопоставимых со скоростью быст-

рого бегущего человека.

Результаты эксперимента: Подтверждают замедление течения времени в соответствии с формулой (8). Следует отметить, что один из авторов эксперимента, D. J. Wineland, стал лауреатом Нобелевской премии по физике за 2012 год «развитие основополагающих экспериментальных методов измерения и манипуляций над одиночными квантовыми системами». Полученные им результаты непосредственно открыли возможность создания использованных в данном эксперименте часов.

Источники: [32,33].

Группа экспериментов В

Предмет исследования: фактор влияния — гравитация.

Сущность исследуемого явления: гравитация тормозит течение времени.

Проверяемые следствия: изменение хода часов в гравитационном поле, гравитационное красное смещение в спектрах излучений, эффект Шаapiro.

Цель экспериментов: изучение темпов течения времени для объектов, находящихся в гравитационном поле, по сравнению с темпами течения времени в лабораторной системе координат.

1925 г.

Авторы и место проведения эксперимента: Уолтер Сидни Адамс (Walter Sydney Adams), обсерватория Маунт-Вильсон (Лос-Анжелес, Калифорния, США), которую Адамс возглавлял.

Описание эксперимента: В 1925 по просьбе А. Эддингтона Адамс провел наблюдения за смещением линий спектра водорода белого карлика Сириус В с целью обнаружения гравитационного красного смещения, предсказанного общей теорией относительности А. Эйнштейна.

Результаты эксперимента: Проведенные наблюдения, как и более поздние наблюдения за смещениями в спектрах других белых карликов, совпали с предсказаниями ОТО, однако справедливость выводов оспаривалась из-за влияния конкурирующего эффекта Доплера, также вызывающего определенный сдвиг частот.

Источники: [81].

1959 г.

Авторы и место проведения эксперимента: Паунд Роберт Вивиан (Pound R. V.), Ребка Глен Андерсен (G. A. Rebka Jr.). Эксперимент был осуществлён в башне физической лаборатории Джефферсона в Гарвардском университете.

Описание эксперимента. Изучение гравитационного красного смещения в земных условиях с помощью мессбауэровской спектроскопии в отсутствии конкурирующих эффектов. Исходная идея опыта заключалась в следующем. Согласно положениям квантовой механики, система поглощает фотоны точно на тех же резонансных частотах, что и излучает. Поэтому фотон, излученный атомом на некоторой высоте над уровнем моря, будет казаться «покрасневшим» такому же атому, находящемуся ниже. В результате резонанс не наступит, и нижний атом не поглотит фотон. Однако если атом, расположенный выше, начнет двигаться вниз, то возникнет фиолетовое смещение, которое на определенной скорости нейтрализует красное смещение, и фотоны снова начнут поглощаться нижним атомом. Другими словами, гравитационное ускорение хода времени для верхнего атома будет компенсировано релятивистским замедлением времени в результате его движения вниз.

В эксперименте использовался эффект магнитного ядерного резонанса (эффект Мессбауэра), благодаря которому ширина линий излучения/поглощения уменьшается практически до минимально возможного значения — естественной ширины. В результате открывается возможность сонастроить частоты образцов, передающих и принимающих фотоны. В качестве образцов использовалась пластина радиоактивного железа ^{57}Fe , помещенная на полу здания, и такая же железная пластина на высоте 22,6 метра над полом. Ядра ^{57}Fe излучают фотоны гамма-излучения. За верхней приемной пластиной был установлен сцинтилляционный счетчик, который регистрировал число не поглощенных пластиной фотонов, исходящих из пластины на полу — определяя таким образом частотную сонастройку двух групп ядер железа. Верхняя

пластина была закреплена на устройстве, заставлявшем ее колебаться. Изменение скорости движения приемной пластины порождало переменный доплеровский сдвиг, вызывающий переменный ток в цепи сцинтилляционного счетчика. Определялась скорость приемной пластины, соответствующая нейтрализации гравитационного красного смещения эффектом Доплера и в итоге ядерному резонансу.

Результаты эксперимента: Установлено хорошее соответствие с выводами общей теории относительности. Результаты измерений:

$$\left(\frac{\Delta\omega}{\omega_0}\right)_{\text{exp}} = -(2,57 \pm 0,26) \cdot 10^{-15}$$

Расчеты согласно ОТО:

$$\left(\frac{\Delta\omega}{\omega_0}\right)_{\text{theor}} = -\frac{g\Delta h}{c^2} = -2,46 \cdot 10^{-15}$$

Эксперименты стали первыми наземными проверками гравитационного красного смещения и связанного с ним изменениями хода часов.

Источники: [82,83,84,85].

Дополнение: эксперимент был повторен в **1965** году [86].

1960 г.

Авторы и место проведения эксперимента: Крэншоу (Cranshaw T. E.), Шиффер (Schiff-er I. P.), Уайтхед (Whitehead A. B.) — США.

Описание эксперимента: исследовалось смещение спектра ^{57}Fe при изменении высоты.

Результаты эксперимента: получено качественное совпадение результатов с предсказанными ОТО.

Источники: [87].

1964 г.

Авторы и место проведения эксперимента: Мельников С. А., Пулково, (СССР).

Описание эксперимента: Исследовались гравитационные красные сдвиги фраунгоферовых железных линий в центре Солнца.

Результаты эксперимента: Получено качественное совпадение результатов с предсказаниями ОТО, связанными с гравитационным замедлением времени.

Источники: [88].

1966–1967 гг.

Авторы и место проведения эксперимента: обсерватория Массачусетского технологического института (США).

Описание эксперимента. Ирвин Шапиро предложил эксперимент, в ходе которого посланные с Земли радиоволны отражались от поверхности Венеры и Меркурия и возвращались на Землю. Вычисления Шапиро предсказывали, что при некотором расположении Земли, Солнца и Венеры ожидаемое время задержки электромагнитного сигнала в результате замедления времени в гравитационном поле Солнца будут находиться на уровне 200 микросекунд.

Первые экспериментальные данные, полученные в 1966—1967 годах в обсерватории Массачусетского технологического института, совпали с предсказаниями Шапиро. Для отражения сигнала, проходящего вблизи Солнца, использовались поверхности Венеры и Меркурия.

Результаты эксперимента: Подтвержден эффект Шапиро, связанный с гравитационным замедлением времени с точностью до 5% .

Источники: [22].

1971 г.

Авторы и место проведения эксперимента: Дж. Хафеле (J. C. Hafele) и Ричард Китинг (Richard E. Keating) — США.

Описание эксперимента. Гравитационный аспект описанного выше эксперимента. Учитывалось изменение хода часов на летящих самолетах в связи с увеличением гравитационного потенциала (ОТО). Поскольку самолеты летели приблизительно на одной и той же высоте в обоих направлениях, этот эффект мало влияет на разность хода двух «путешествовавших» ча-

сов, однако он вызывает их уход от показаний часов на поверхности земли.

Направление полета	Разность показаний часов по сравнению с Землей в наносекундах			
	теоретическая			измеренная
	гравитационная	релятивистская	суммарная	
На Восток	144±14	-184±18	-40±23	-59±10
На Запад	179±18	96±10	275±21	273±7

Результаты эксперимента: подтверждено влияние гравитации на ход времени в соответствии с общей теорией относительности.

Источники: [59, 60].

Дополнение: Эксперименты повторялись в **1996** году и в **2005** году. Их результаты не обнаружили расхождений с общей теорией относительности и подтвердили эффект гравитационного замедления времени.

1976 г.

Авторы и место проведения эксперимента: Алли (Alley С. О.) и исследовательская группа Мэрилендского университета (США).

Описание эксперимента. Измерялась разность временных показаний атомных часов, размещенных на самолете и в наземной лаборатории. Время полета составляло около 15 часов, высота полета ≈ 10 км (это дает $\Delta v/v \approx 10^{-12}$ против $\Delta v/v \approx 10^{-15}$ в экспериментах Паунда). Самолет курсировал в заданном квадрате на постоянной высоте с минимальной скоростью, для уменьшения релятивистского эффекта замедления времени. Гравитационный эффект замедления времени составлял +50 наносекунд, против релятивистского замедления времени -7 наносекунд. На борту использовались несколько цезиевых и рубидиевых стандартов частоты, в наземной лаборатории дополнительно применялись водородные стандарты. Сличение экспериментальных часов с опорными осуществлялось специальной системой, разработанной для программ лунной лазерной локации и обладающей точностью $\pm 0,1$ наносекунд. Часы на борту сравнивались с наземными до, после и во время полета. Это позволяло следить за динамикой эффекта, т. е. накоплением запаздывания наземных часов по отношению к бортовым. С ошибкой 1,6% наблюдения соответствовали теоретическим предсказаниям. Это не выше точности опыта Паунда, но зато впервые наблюдалась динамика процесса временного запаздывания.

Результаты эксперимента: Подтверждено гравитационное изменение хода времени с точностью 1,6%, исследована динамика нарастания временного запаздывания.

Источники: [89, 90].

1976 г.

Авторы и место проведения эксперимента: эксперимент под руководством Вессо (R. F. C. Vessot) по проекту Gravity Probe A (GP-A), проведен Smithsonian Astrophysical Observatory и National Aeronautics and Space Administration (NASA) на аппаратуре космического базирования (США).

Описание эксперимента. Основой измерительной системы являлся водородный мазер, представляющий собой высокоточный стандарт частоты (стабильность порядка 10^{-14} за 100 секунд период измерения), который использовался для измерения времени. Аппаратура была размещена в головной части ракеты «Scout rocket» и предназначалась для измерения разницы в ходе времени в точках с разными гравитационными потенциалами над поверхностью Земли. Ракета поднялась вертикально вверх на высоту 10 273 км, в течение всего полета (1 часа 55 минут) проводились измерения, после чего ракета упала в Атлантический океан.

Результаты эксперимента: Показано, что гравитация влияет на течение времени в соответствии с ОТО и подтверждены расчеты изменения хода времени с точностью до 0,007 %.

Источники: [91].

1976–1982 гг.

Авторы и место проведения эксперимента: НАСА (США). Использовался находящийся на поверхности Марса спускаемый аппарат космической станции «Viking — 1».

Описание эксперимента. Исследовалось замедление времени в гравитационном поле Солнца, проявляющееся в эффекте Шапиро. Ученые использовали спускаемый аппарат для

проверки этой гипотезы, посылая радиосигнал к аппарату и задавая инструкции для обратного ответа. Замедление времени изучалось по прохождению этого сигнала в гравитационном поле.

Результаты эксперимента: Полученные результаты (эффект Шапиро) находились в согласии с предсказаниями ОТО.

Источники: [92].

1977–2007 гг.

Авторы и место проведения эксперимента: НАСА (США). Использовались космические аппараты миссии «Voyager».

Описание эксперимента. Исследовалось замедление времени в гравитационном поле Солнца, проявляющееся в эффекте Шапиро. С этой целью осуществлялась ретрансляция радиолокационных сигналов космическими аппаратами «Voyager», проходящими позади Солнца.

Результаты эксперимента: получены данные о замедлении времени для проходящего гравитационное поле сигнала (эффект Шапиро).

Источники: [93].

1978 г.

Авторы и место проведения эксперимента: Иидзима (Iijima S.), Фудзивара (Fujiwara K.), Токийская астрономическая обсерватория (Япония).

Описание эксперимента. Исследователи поместили одни часы на гору, а другие под гору, и измеряли разницу хода этих часов. Перепад высот составил 2818 м, время измерения эффекта — две недели.

Результаты эксперимента: Точность измерений составляла 5%. Предсказания общей теории относительности о гравитационном изменении хода времени были подтверждены.

Источники: [94].

1979 г.

Авторы и место проведения эксперимента: Бриаторе (Briatore L.), Лещутта (Leschiutta S.), Электротехнический институт им. Галилео Феррариса, Турин, (Италия).

Описание эксперимента. Исследователи синхронизовали двое атомных часов, затем поместили одни часы на вершину горы Плато Роза, а вторые оставили на физическом факультете в Турине. Разница в высоте составляла 3250 м. Время, за которое измерялась задержка часов, составляло 66 дней. Из-за различия в потенциале гравитационного поля Земли, скорости хода часов были различны, расположенные на вершине горы часы уходили вперед на 30 наносекунд в день.

Результаты эксперимента: Измерения подтвердили общую теорию относительности и измерили задержку времени с точностью 15%.

Источники: [95].

1991 г.

Авторы и место проведения эксперимента: Джозеф Хотон Тейлор (Joseph Hooton Taylor, Jr), Рассел Алан Халс (Russell Alan Hulse), открытие сделано на радиотелескопе в Аресибо в Пуэрто-Рико, исследования проводятся Корнельским университетом (США).

Описание эксперимента. В 1974 году ими открыта двойная система PSR B1913+16, состоящая из нейтронной звезды и пульсара. Одна из звезд системы — нейтронная, её период вращения 17 оборотов в секунду (исходя из измеренного периода импульса излучения 59,03 мс). При этом средняя скорость движения по орбите около 200 км/с. В 1991 году измерения сокращающейся орбиты этой пары звезд, образующих пульсар, дали подтверждение ряду положений общей теории относительности. Измеренное замедление периода орбитального движения:

$$\Delta T_{orb} = -76 \pm 0,3 \text{ мкс (за 1 земной год)}.$$

Наблюдающееся по релятивистскому замедлению времени уменьшение периода обращения хорошо согласуется с предсказаниями общей теории относительности:

$$\Delta T_{orb}^{theor} = -75,8 \text{ мкс (за 1 земной год)}.$$

Результаты эксперимента: Были измерены замедление хода времени на движущемся объекте (эффект специальной теории относительности) и гравитационное красное смещение в

поле тяготения (гравитационное изменение хода времени). Полученные данные согласуются с расчетами по изменению хода времени в рамках теории относительности. Авторы получили Нобелевскую премию по физике 1993 года «за открытие нового типа пульсаров, давшее новые возможности в изучении гравитации».

Источники: [96].

2003 г.

Авторы и место проведения эксперимента: космический эксперимент НАСА, Европейского космического агентства и Итальянского космического агентства.

Описание эксперимента. В 1997 году запущен автоматический космический аппарат Кассини-Гюйгенс (Cassini-Huygens). Во время нахождения аппарата по другую сторону от Солнца, а также Юпитера и Сатурна проводились эксперименты по проверке общей теории относительности.

Результаты эксперимента: наблюдался частотный сдвиг и задержка сигнала, приходящего от аппарата, как следствие замедления хода времени в гравитационном поле. Положения ОТО, связанные с особенностями течения времени, подтвердились с погрешностью 0,002%.

Источники: [97].

2005 г.

Авторы и место проведения эксперимента: Майкл Кремер (Michael Kramer) из университета Манчестера с коллегами. Использовалась информация, полученная от радиотелескопов Lovell Telescope, Parkes radio telescope и Robert C. Byrd Green Bank Telescope.

Описание эксперимента. В течение двух с половиной лет проводились наблюдения двойной звездной системы PSR J0737-3039, оба компонента которой — пульсары. Компоненты системы отделены друг от друга расстоянием около 800 тысяч километров и движутся по своим орбитам со скоростью приблизительно 300 километров в секунду. Орбитальный период J0737-3039 составляет 2,4 часа — наименьший из известных для подобного рода систем. Пульсары обладают сильным гравитационным полем (примерно в 100 тысяч раз больше, чем у Солнца), и они излучают радиоволны с очень строгой периодичностью, поэтому любые отклонения легко зафиксировать и измерить. Диаметр пульсаров системы PSR J0737-3039 — всего около двадцати километров, из-за чего их можно считать не сферами, а материальными точками, что существенно упрощает расчёты. Объекты такого рода позволяют весьма точно проверять предсказания теории относительности, так как релятивистские эффекты отражаются на временных интервалах, с которыми происходит излучение пульсарами электромагнитных импульсов. Необычайная близость компонентов системы и малый орбитальный период, а также тот факт, что мы видим систему практически с ребра — всё это позволило исследовать проявления релятивистских эффектов с высочайшей точностью.

Результаты эксперимента: Собранные данные свидетельствуют о соответствии наблюдаемых эффектов с теорией, в частности:

- во время сближения компонентов наблюдается увеличение (на 0,38 мкс) их собственного периода вращения за счёт замедления хода времени в сильном гравитационном поле.
- когда сигнал от одного из пульсаров на пути к Земле проходит в непосредственной близости от другого пульсара, сильное искривление пространства-времени и замедление хода времени в окрестности последнего вызывает задержку прохождения сигнала до 90 миллисекунд (эффект Шапиро).

Как показали вычисления, сделанные группой Кремера, возможные отклонения от общей теории относительности составляют не более 0,05%.

Источники: [98].

2009 г.

Авторы и место проведения эксперимента: Хольгер Мюллер (Holger Mueller) с коллегами, университет Калифорнии в Беркли (США).

Описание эксперимента. В ходе эксперимента атомы цезия, скорость которых была направлена вверх по отношению к поверхности Земли, действием двух лазерных пучков переводились в суперпозицию состояний с различающимися импульсами. Вследствие того, что сила гравитационного воздействия зависит от высоты над поверхностью Земли, набеги фаз волновой

функции каждого из этих состояний при возвращении в исходную точку различались. Разность между этими набегам вызывала интерференцию атомов внутри облака, так что вместо однородного по высоте распределения атомов наблюдались чередующиеся сгущения и разрежения, которые измерялись действием на облако атомов лазерными пучками и измерением вероятности обнаружения атомов в некой выбранной точке пространства. На основании измерения красного смещения рассчитывалось гравитационное замедление времени.

Результаты эксперимента: Подтверждено гравитационное изменение хода времени. Точность полученных результатов находится на уровне $7 \cdot 10^{-9}$.

Источники: [99].

2010 г.

Авторы и место проведения эксперимента: C. W. Chou, D. B. Hume, T. Rosenband, D. J. Wineland, NIST (США).

Описание эксперимента. Специалисты NIST (США) провели серию экспериментов по влиянию гравитации на ход времени. Для этого использовался градиент гравитационного поля Земли. В экспериментах применялись созданные в этом институте сверхточные часы на основе иона алюминия. Двое часов были расположены в различных лабораториях в NIST и связаны оптическим волокном 75 метров длиной. Замерялся ход времени часов, расположенных на разной высоте.

Результаты эксперимента: Подтверждают изменение хода времени в гравитационном поле Земли даже на небольшой разнице высот в соответствии с ОТО. Понижение потенциала гравитационного поля Земли при подъеме на высоту 33 см относительно контрольных часов приводило к ускорению темпов течения времени на 4 фемтосекунды за секунду. Величина расхождения в ходе часов соответствовала предсказаниям общей теории относительности: порядка 3 микросекунд в год на один километр разницы в высоте над поверхностью Земли.

Источники: [32,33]. Подтверждают изменение течения времени в соответствии с общей теорией относительности. Следует отметить, что один из авторов эксперимента, D. J. Wineland, стал лауреатом Нобелевской премии по физике за 2012 год «развитие основополагающих экспериментальных методов измерения и манипуляций над одиночными квантовыми системами». Полученные им результаты непосредственно открыли возможность создания использованных в данном эксперименте часов.

Группа экспериментов С

Предмет исследования: процессы минимально возможной длительности (атомарные процессы).

Сущность исследуемого явления: если существует самый короткий процесс, то на меньших временных интервалах уже ничего не происходит, и вопрос существования течения времени в пределах таких интервалов становится дискуссионным. При положительном результате можно будет делать заключения о существовании фактической длительности мгновения, или момента Настоящего. Результаты исследований могут дать определенные аргументы при рассмотрении альтернативных теорий времени — реляционной и субстанциональной.

Цель экспериментов (в данном случае рассматривается их темпорологический аспект): экспериментальное обнаружение самого быстропротекающего процесса с минимально возможной длительностью.

1995 г.

Авторы и место проведения эксперимента: коллаборции CDF и D0, эксперименты проводились на кольцевом ускорителе — коллайдере Тэватрон (Tevatron) в американской лаборатории им. Энрико Ферми (г. Батавия, штат Иллинойс, США).

Описание эксперимента. В результате столкновений протон-антипротонной пары на коллайдере Тэватрон по продуктам распада был открыт t-кварк.

Результаты эксперимента: открытие частицы — t-кварка со временем жизни 10^{-25} сек. Темпорологический аспект этого результата состоит в том, что временной размер (длительность) гипотетического атомарного процесса не может превышать десятых долей йоктосекунды.

Источники: [100].

2012 г.

Авторы и место проведения эксперимента (серии экспериментов): ЦЕРН (CERN), Большой адронный коллайдер (LHC), эксперименты ATLAS и CMS.

Описание эксперимента. В столкновениях ультрарелятивистских протонов на LHC обнаруживается бозон Хиггса, который детектируется по продуктам его распада.

Результаты эксперимента: предположительное открытие бозона Хиггса со временем жизни от 10^{-23} до 10^{-26} сек. Темпорологический аспект — если подтверждается нижняя оценка времени жизни бозона Хиггса, то оценку длительности атомарного процесса необходимо снизить до сотых долей йоктосекунды (10^{-26} сек).

Источники: [101].

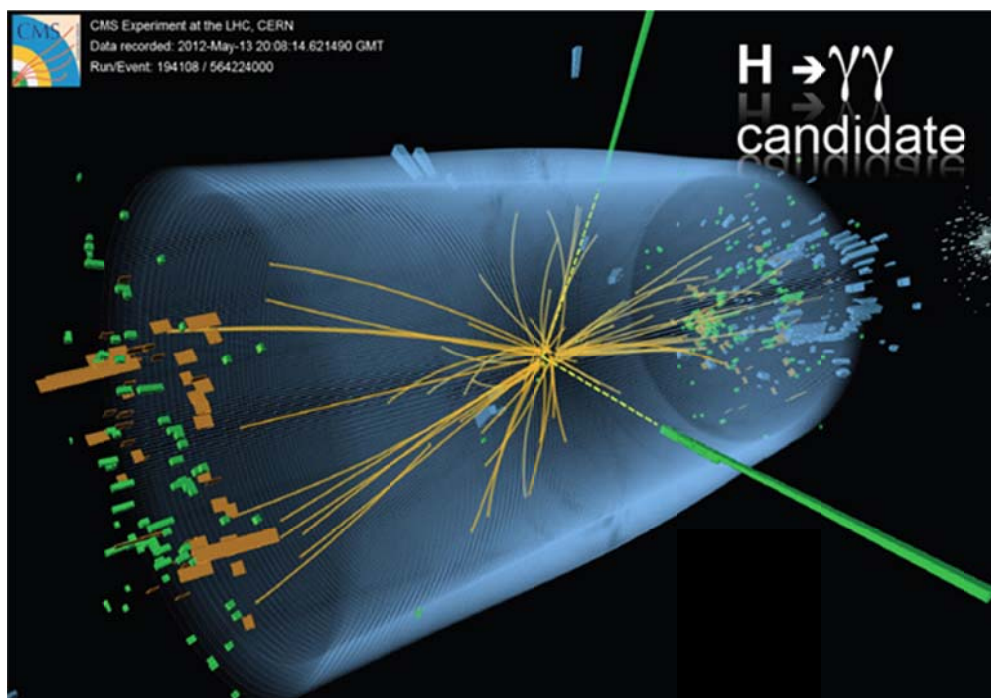


Рис. 14. Одно из событий регистрации бозона Хиггса и его распада на два фотона, зарегистрированных детектором CMS (изображение из доклада 4 июля 2012 г.). Исключительная нестабильность этого бозона делает его существование и распад кандидатом на один из самых коротких процессов в природе. Время жизни бозонов Хиггса должно находиться в интервале от 10^{-23} до 10^{-26} сек.

Практическая темпорология

Практическое использование запуска и остановки течения собственного времени.

Впервые человек начал целенаправленно использовать свойства течения времени в своей практической деятельности предположительно около полутора миллионов лет назад, когда он еще был представлен видом *Homo erectus*. Поддерживая естественные механизмы остановки собственного времени для горючих материалов в виде горения костров и факелов, проточеловек получил возможность обогреться и готовить пищу за счет создаваемого огнем потока частиц с остановленным собственным временем в инфракрасном диапазоне (в сочетании с порожденным тем же огнем процессами теплообмена и конвекции). Поток частиц в видимом диапазоне спектра давал ему возможность освещения в темное время суток и в глубине пещер, а также использовался в качестве оружия. Позднее (по некоторым оценкам — от миллиона до 200 тыс. лет назад) человек (*Homo sapiens*) уже сам научился управлять ходом времени и создал технологии остановки собственного времени, научившись разжигать костры. Останавливая течение времени для вещества горючих материалов и используя полученный таким образом поток фотонов в видимой и инфракрасной части спектра, человек впервые получил управляемый инструмент господства над окружающей природой.

Основными механизмами управления ходом собственного времени для первобытного человека стало получение огня с помощью трения (широко используется до сих пор при использовании коробка со спичками), и путем высекания искр при ударе (широко используется

до сих пор при пользовании газовыми зажигалками).

Безусловно, первобытный человек не осознавал, что, разжигая костер, он управляет временем — но это не меняет физической сущности процесса. Таким образом, практическая темпорология может претендовать на первую технологию, освоенную человеком. Нет другого технологического процесса, который бы оказал большее влияние на формирование и развитие *Homo Sapiens*, чем процесс управления течением собственного времени.

С тех пор механизмы запуска и течения собственного времени при процессах излучения и поглощения получили большое распространение и сейчас играют важнейшую роль в развитии человеческой цивилизации. В качестве современных приборов, фактически использующих процесс управления течением собственного времени, можно назвать лазеры и мазеры, в которых используется процесс остановки собственного времени, связанный с излучением фотонов, и солнечные батареи космических аппаратов, в которых происходит запуск течения времени при поглощении потока фотонов солнечного излучения.

Если рассмотреть вопрос, возможна ли остановка течения собственного времени для человека, то можно прийти к выводу, что такая возможность есть, но она влечет за собой фатальные результаты. Такие случаи достаточно известны, стоит вспомнить, например, сожжение на костре Джордано Бруно. В результате этой трагедии для части тела ученого (хотя и очень малой) течение собственного времени было остановлено, что привело к утрате ее идентичности, а оставшаяся часть была разрушена в результате самой химической реакции горения, обеспечивавшей испускание фотонов с остановленным собственным временем.

Можно сказать, что остановка течения собственного времени, пусть и неосознанно, применялась к жертвам как способ жестокой казни в пламени костра.

Все известные нам к настоящему времени механизмы запуска или остановки течения собственного времени для объекта связаны с утратой его идентичности. Судя по всему, неразрушающим образом осуществить такого рода операцию невозможно.

Может сложиться мнение, что в ряде приведенных здесь примерах роль течения времени не проявляется явно, поэтому нельзя относить их к практическому использованию свойств течения времени. Однако следует возразить, что принимая, например, таблетку аспирина, мы, как правило, не имеем ни малейшего представления о том, какие именно свойства активных компонент этого лекарства мы используем для достижения желаемого эффекта. И тем не менее ими пользуемся.

Учет замедления течения времени в механизмах ускорителей элементарных частиц. Значительную роль в современных исследованиях физики микромира играют сложные и



Рис. 16. Схема расположения подземного ускорительного кольца ЛНС на границе Швейцарии и Франции.



Рис. 15. Применение устройства для управления ходом собственного времени первобытным человеком.

исключительно дорогостоящие инженерные сооружения — ускорители элементарных частиц. Конструкции ускорителей, разгоняющие сгустки частиц до околосветовых скоростей, основываются на соотношениях релятивистской механики, неотъемлемой частью которой является релятивистское замедление хода времени.

В качестве примера можно привести успешно работающий Большой адронный коллайдер (ЛНС) в ЦЕРНЕ. Он представляет собой ускорительное кольцо длиной 27 км, в котором разгоняются и сталкиваются встречные пучки протонов. Пучок протонов состоит из сгустков этих частиц, каждый из которых имеет форму «иглы» длиной до десяти сантиметров и толщиной несколько микрон. В нормальном режиме пучок циркулирует внутри вакуумной камеры, не за-

девая аппаратуру. Если из-за неправильных расчетов конструкции протоны сойдут с круговой орбиты и не успеет сработать система сброса пучка, то возникнет большая опасность: протонный пучок на полной энергии и интенсивности обладает большой разрушительной силой. Неконтролируемый пучок свободно прожжет стенку вакуумной трубы, разрушит механизмы ускорителя и многометровые бетонные стены коллайдера: его энергия соответствует энергии летящего реактивного самолета, сконцентрированной в поперечнике меньше миллиметра.

Поэтому от правильности инженерных расчетов зависит сохранность и работоспособность дорогостоящего оборудования (стоимость коллайдера составляет около 10 миллиардов долларов). Если бы расчеты базировались на классической механике, то коллайдер оказался бы неработоспособным. Только благодаря релятивистской механике, заложенной в инженерных расчетах конструкции ускорителя, ЛНС успешно выполняет свои функции.

Исследовательские задачи на коллайдере также решаются с учетом релятивистского замедления времени. Ультрарелятивистский протон можно представить в виде облака кварков, антикварков и глюонов, совокупность которых образует партоны. В лабораторной системе отсчета вся динамика партонных расщеплений выглядит как бы «замороженной» из-за релятивистского эффекта замедления времени. В связи с этим жесткий процесс столкновения двух протонов можно рассматривать как столкновение двух отдельных партонов, а остальные партоны пролетают мимо, не участвуя в реакции.

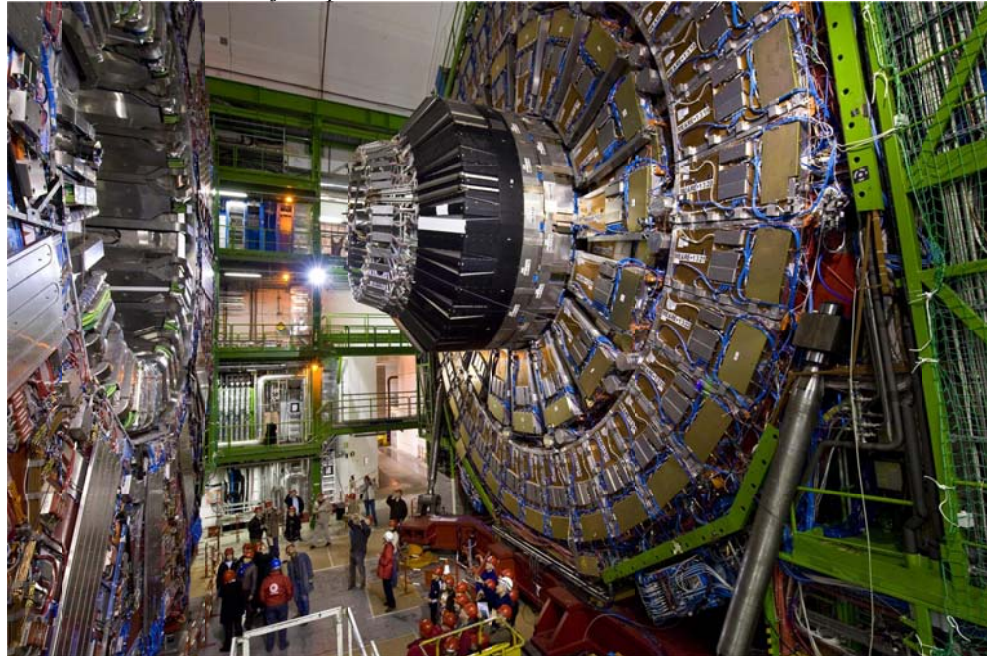


Рис.17. Механизмы Большого адронного коллайдера.

Релятивистское замедление времени лежит в основе технологии получения на ускорителях вторичных пучков нестабильных частиц: $\pi^\pm$, $K^\pm$, $\Sigma^\pm$, Λ^0 и др. Например, в состоянии покоя Σ^+ - и Σ^- - гипероны живут соответственно $0,8 \cdot 10^{-10}$ сек и $1,5 \cdot 10^{-10}$ сек, но уже при $\gamma \sim 10$ они, двигаясь со скоростью $v = c$, имеют длины распада 24 см и 45 см, что делает возможным формирование $\Sigma^\pm$ -пучков. Ещё сильнее проявляется замедление времени в пучках $\pi^\pm$ - мезонов, где достигается $\gamma \sim 103$ и выше.

Огромные скорости, достигаемые на ускорителях, с высокой точностью подтверждают следствия теории относительности. За все время работы на ускорителях никаких отклонений от законов релятивистской физики обнаружено не было.

Учет свойств течения времени для навигационных систем. Наиболее наглядным и распространенным примером учета особенностей течения времени в практической деятельности человека являются системы спутниковой навигации.

В настоящее время развернуты и находятся в эксплуатации две спутниковые навигационные системы — GPS (США) и ГЛОНАСС (Россия). Эти системы опираются на спутниковые группировки, включающие десятки движущихся по орбитам спутников, и на наземное оборудо-

дование. Спутниковые навигационные системы в основном используются в следующих отраслях:

- военное дело, в частности высокоточное наведение боевых ракет;
- геодезия: системы навигации дают возможность определять точные координаты точек на поверхности Земли;
- картография: построение точных карт в гражданской и военной картографии;
- навигация: морская и сухопутная навигация для транспортных средств;
- спутниковый мониторинг транспортных средств: мониторинг за положением, скоростью автомобилей и контроль за их движением;
- сотовая связь, позволяющая точно определить положение звонящего человека, в частности с целью оказания экстренной помощи;
- тектоника: наблюдение за движением и колебаниями тектонических плит, в частности в исследованиях по предсказаниям землетрясений.

Имеются ряд других перспективных возможностей использования спутниковых навигационных систем, в частности при разработке систем автоматической посадки тяжелых авиалайнеров в экстренных ситуациях, и т. д.

Точность определения местонахождения объекта с помощью спутниковых систем навигации при благоприятных условиях может быть доведена до уровня 3 — 6 метров (ГЛОНАСС) и 2-4 метра (GPS), а при совместном использовании обеих систем 2-3 метра. С использованием дифференциального метода точность может быть доведена до 1 мм на один километр расстояния между станциями.

Получение такой высокой точности было бы невозможным, если бы не принимались во внимание релятивистские и гравитационные особенности течения времени для находящихся на орбите спутников. В бортовую шкалу времени каждого из спутников вводится пересчетный коэффициент, определяемый высотой орбиты и учитывающий релятивистский, и гравитационный эффекты. В частности, для системы ГЛОНАСС он равен $1-4,36 \cdot 10^{-10}$ (релятивистская поправка на 37,7 мкс в сутки). Стоит подчеркнуть, что эти поправки вычисляются на основании соотношений специальной и общей теорий относительности, и достигнутая в итоге точность работы навигационных систем служит их надежным подтверждением [102,103].

Практика работы спутниковой системы GPS подтверждает релятивистский эффект замедления времени (СТО) с точностью около 3%, эффект изменения темпов течения времени из-за гравитации (ОТО) — с точностью порядка 0,7%. Ход часов на спутниках GPS, с одной стороны, замедляется из-за релятивистского эффекта примерно на 7200 наносекунд в день, а с другой — ускоряется на 45900 наносекунд в день из-за того, что спутники находятся в более слабом гравитационном поле [104].

Одним из факторов, влияющих на точность спутниковых систем навигации, является неоднородность гравитационного поля Земли, влияющая на орбиты спутников этих систем. Гравиметрические измерения позволяют учесть такое влияние.

Темпоральное поле и возможности практического использования результатов его измерений. Темпоральное поле порождается гравитационным как результат торможения в нем хода времени. В связи с этим возникает вопрос — есть ли практическая необходимость в изучении темпорального поля, если уже ведутся масштабные гравиметрические измерения гравитационного поля нашей планеты и планет Солнечной системы.

Гравиметрия базируется на измерениях поля силы тяжести. Базовым методом наблюдения является гравиразведка, основанная на измерениях ускорения свободного падения и его первых и вторых производных. Гравиметрические наблюдения выполняются с помощью соответствующей аппаратуры — гравиметров и акселерометров. Принципы действия таких приборов основаны на использовании маятника, пружинных весов или падающего тела. В некоторых конструкциях в качестве чувствительного элемента гравиметра используется струна, на конце которой закреплена определенная масса. Изменения частоты колебаний струны характеризует изменения ускорения свободного падения. В ряде конструкций гравиметров используются измерения скорости прецессии гироскопических приборов, которая чувствительна к силе тяжести. Точность измерений гравиметров перечисленных типов находится на уровне $10^{-4} - 10^{-5}$.

Значительно более высокой точностью обладают лазерные гравиметры. Принцип действия лазерного гравиметра основан на измерении ускорения свободно падающего тела, которое установлено в вертикальном плече лазерного интерферометра. Относительная погрешность лазерных гравиметрических приборов находится на уровне 10^{-9} .

Для проведения гравиметрических измерений с помощью спутников Земли и планет используются измерения параметров их орбит с помощью лазерных дальномеров, в частности замеряются расстояния между двумя движущимися друг за другом спутниками (проект GRACE).

Таким образом, наиболее чувствительная современная гравиметрическая аппаратура может обеспечить относительную погрешность измерений не лучше 10^{-9} , тогда как действующие атомные часы, которые могут быть использованы для наблюдений темпорального поля, уже сейчас в состоянии проводить измерения с относительной погрешностью порядка 10^{-17} и с хорошей перспективой дальнейшего повышения точности. Кроме того, наиболее точные лазерные гравиметрические измерительные системы включают в свой состав стандарты частоты, т. е. по-сути их работа связана с измерением временных интервалов. Поэтому их точность принципиально не может превысить точность измерения таких интервалов.

Таким образом, ответ на поставленный выше вопрос заключается в том, что аппаратура, используемая в гравиметрии, не достигла той степени точности, какой удалось добиться в конструкциях атомных часов. В связи с этим результаты исследований темпорального поля с использованием для этого сверхточных атомных часов может нести больше информации, чем обычная гравиметрическая разведка.

Более быстрый прогресс в повышении точности измерения времени и успехи в области миниатюризации приборов времени по сравнению с темпами совершенствования гравиметрической аппаратуры делает приборы времени перспективным инструментом для исследований гравитационного и темпорального полей Земли и планет. Вместе с тем следует отметить, что для измерений темпорального поля могут в принципе использоваться оба вида измерительной аппаратуры, в зависимости от цели исследований и с учетом экономических факторов.

Можно ввести понятие *темпометрическая разведка* (по аналогии с термином гравиметрическая разведка). Объектом измерений для нее является темпоральное поле, в частности его темпоральный потенциал $U_g(x,y,z,t)$. Целесообразно согласовать параметры системы темпометрической разведки с параметрами единой мировой опорной гравиметрической сети International Gravity Standardization Net (IGSN).

Возможность миниатюризации высокоточной измерительной аппаратуры позволяет размещать ее на системах мобильного и космического базирования. А это открывает возможность наблюдения за динамикой темпорального поля, возникновением аномалий хода времени и в сочетании с другими методами исследований (в частности геомагнитными и т. д.) локализовать и идентифицировать их источники.

Темпометрическая разведка совместно с другими методами, в том числе и с гравиметрической разведкой, позволит более точно и полно решать ряд практических задач.

В число таких задач можно отнести выявление и исследование глубинных разломов земной коры и глобальных тектонических структур и их движений, процессов перераспределения масс в земных недрах. Особо следует отметить потенциальную возможность использовать темпометрическую разведку при поиске и разведке месторождений полезных ископаемых. В частности, речь идет о нефтегазовых и угольных месторождениях, железных руд, хромовых и медноколчеданных руд, а также месторождений калийных солей, боратов, корунда, барита, апатитов. Интересной возможностью является поиск водоносных слоев и изучения глубинного строения артезианских бассейнов, скрытых водных потоков.

В современных условиях особую важность приобретает мониторинг таяния огромных масс льда в Гренландии и на полюсах, связанного с угрозой общего поднятия уровня мирового океана и угрозой затопления прибрежных областей. Наблюдения за формированием и движениями водных потоков в мировом океане, в том числе глубинных, движений больших атмосферных масс может оказаться весьма полезным для долгосрочного прогнозирования состояния атмосферы и климатических изменений. Исследование движений тектонических плит совместно со стандартными методами сейсморазведки может оказаться полезным для прогнозирования землетрясений.

Мониторинг темпорального поля в околоземном пространстве и на поверхности Земли откроет возможность выявления областей с высокой напряженностью темпорального поля и позволит начать исследования влияния и потенциальной опасности таких областей для биосферы Земли.

Влияние темпорального поля на биосферу планеты. Рассмотрим важную особенность темпорального поля, имеющую непосредственное практическое значение для жизнедея-

тельности человека. Она заключается в том, что присутствие гравитационной аномалии с резко выраженными границами (например, тектонического разлома) порождает локальные области с высокой напряженностью темпорального поля.

Любой объект, в том числе биологической природы, оказавшийся в зоне с высокой напряженностью темпорального поля, будет испытывать на себе влияние перепада темпов течения времени для него. Как показано выше, это может иметь негативные последствия.

Нужно отметить, что Природа в значительной степени защитила нас от разрушительного воздействия темпорального градиента. Действительно, разница в темпах течения времени ΔU_g связана с разницей гравитационных потенциалов $\Delta\varphi$ следующим соотношением:

$$\Delta U_g = \frac{1}{c^2} |\Delta\varphi|. \quad (12)$$

Следовательно, даже значительная деформация источником аномалии гравитационного поля сглаживается коэффициентом c^{-2} , делая перепады в темпах течения времени для макрообъектов практически не ощутимыми.

Однако ситуация меняется, если рассматривать объекты микромира. Изменение временных масштабов событий для них приближает разницу в темпах течения времени к темпам протекания процессов в микромире. Так, например, фундаментальные для биосферы процессы фотосинтеза включают процессы, длительность которых имеет порядок от сотен фемтосекунд до 1-2 пикосекунд, что уже вполне сравнимо с величинами временных задержек, порождаемых темпоральным градиентом в естественных условиях. В этих временных масштабах перепад в темпах течения времени может оказать негативное воздействие на живые организмы. Патогенное влияние темпорального градиента можно связать с десинхронизацией сложных атомно-молекулярных процессов в биоструктурах, которые могут приводить к их дезорганизации и определенному угнетению жизнедеятельности.

Поскольку возможное патогенное влияние напряженности темпорального поля связано с конкретными участками территории, можно говорить о геопатогенных зонах. Здесь под геопатогенной зоной понимается участок биосферы, на котором прослеживается устойчивая географическая локализация патогенного влияния деформаций темпорального поля, порождаемых геолого-тектоническими особенностями строения литосферы, на биологические организмы при отсутствии техногенных факторов, способных вызвать аналогичные эффекты.

В связи с этим существенным аспектом практической темпорологии может стать изучение негативного влияния деформаций темпорального поля на жизнедеятельность человека и формирования в результате геопатогенных зон, с получением рекомендаций, позволяющих уменьшить их негативное воздействие.

Угроза может возникнуть для сверхбыстродействующей электронной аппаратуры, если временные масштабы элементарных актов ее деятельности приблизятся к масштабам временных задержек, порождаемых высокой напряженностью темпорального поля.

Представляет интерес изучение последствий солнечных затмений, при которых воздействия гравитационных полей Луны и Солнца на Землю суммируются, деформируя при этом темпоральное поле нашей планеты.

Наблюдения и исследования событий иного временного масштаба с помощью видео/кино съемки. Органы восприятия человека сформировались в процессе эволюции таким образом, чтобы получать только ту информацию об окружающем мире, которая необходима для выживания в процессе эволюции, не перегружая его излишней информацией. Это привело к ограниченности человеческого восприятия как в пространстве, так и во времени. Временной диапазон непосредственного восприятия был ограничен процессами, имевшими длительность не менее нескольких миллисекунд, т. е. от 10^{-3} сек и выше.

С конца XIX была открыта возможность наблюдать быстропротекающие события с помощью ускоренной или замедленной видео-киносъемки. Этот метод позволил преобразовывать временные масштабы протекающих процессов так, что они пришли в соответствие с диапазоном возможностей восприятия человека. Естественно, что при этом время для самих исследуемых процессов течет обычными темпами, изменения заключаются лишь в искусственном расширении диапазона воспринимаемых человеком временных интервалов, нижняя граница которых отодвинулась до уровня порядка 10^{-7} сек.

При этом возникает иллюзия реального замедления хода времени, а в случае фотографирования — остановки течения времени. Однако следует отметить, что полученные при реализации таких технологий результаты адекватны реальному изменению хода времени для ис-

следуемых объектов тогда и только тогда, когда в отношении исследуемых процессов выполняется требование временной масштабной инвариантности. Возможности моделирования этими методами реального ускорения или замедления течения времени будет оправданным только в таком случае. Действительно, при наличии временной инвариантности изменение временного масштаба не должно сказываться на протекании физических процессов, и будет иметь место их физическое подобие.

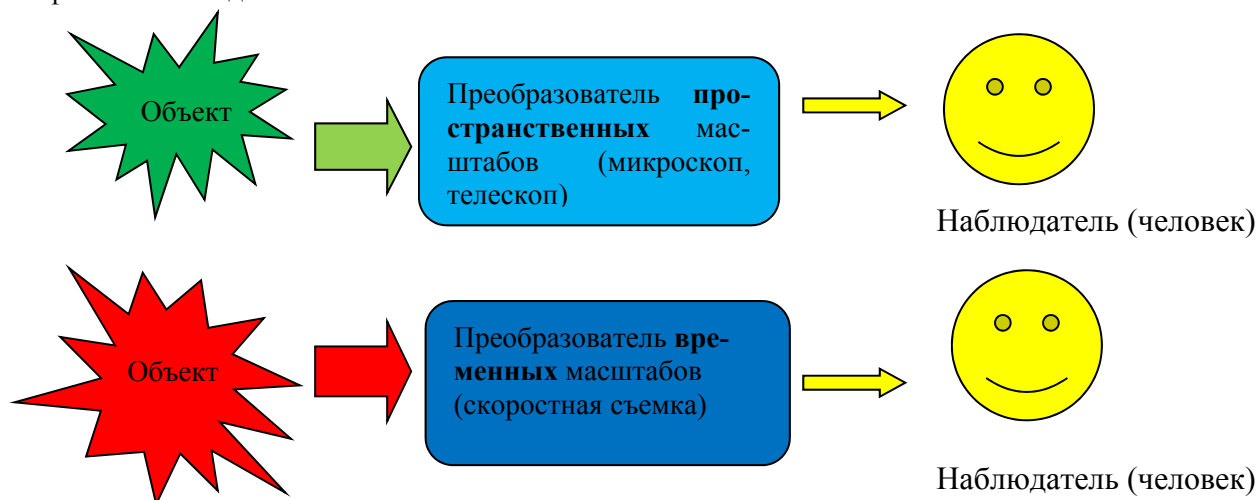


Рис. 18. Схема масштабных преобразований наблюдаемых параметров объектов к соответствующим диапазонам восприятия человека с помощью технических устройств: телескопов и микроскопов — для адаптации к иным пространственным масштабам и систем ускоренной и замедленной видео/кино съемки для адаптации к иным временным масштабам.

Устройства, позволяющие проникать в мир иных временных масштабов, нашли широкое применение в практической деятельности человека, в том числе в исследовательских целях, искусстве и т. д..

Заключение

Мы должны научиться управлять течением времени и использовать его свойства в практических целях. В определенной степени это уже происходит, хотя о целенаправленной работе в этом направлении говорить пока не приходится.

Необходимо сломать предубеждение о том, что эксперименты со временем в принципе невозможны или находятся за пределами наших возможностей. Эксперименты в области темпорологии становятся возможными благодаря впечатляющему росту точности атомных часов и их миниатюризации, развитию других средств для проведения исследований. Моделировать особенности темпорального поля, в частности области его высокой напряженности, в лабораторных условиях пока невозможно. Выходом является перемещение экспериментальных образцов объектов в естественные области на земной поверхности или в космосе, в которых такая напряженность имеет место.

Поскольку темпоральные явления в реальных лабораторных условиях проявляются только в микромасштабах, представляет значительный интерес поиск устройств и технологий, позволяющих выполнить «усиление» этих эффектов до уровня, на котором их можно уверенно регистрировать и исследовать — подобно тому, как происходит визуализация движения и реакций элементарных частиц с помощью пузырьковых камер.

Можно предположить, что с этой целью удобно будет использовать биологические макромолекулы, способные к самовоспроизводству. Попадание такой «работающей» макромолекулы в область высокой напряженности темпорального поля может привести к «дефектам» в них, порождаемым перепадами в темпах течения времени для различных ее частей, и эти «дефекты» при самовоспроизводстве таких молекул будут умножаться, что позволит их регистрировать с помощью соответствующей экспериментальной аппаратуры.

Особый интерес представляют собой исследования поведения тел как биологической, так и техногенной природы, попавших в область с высокими значениями напряженности темпорального поля, их устойчивость к таким воздействиям.

Коэффициент c^{-2} в соотношении (12) переводит темпоральные процессы в существенно иной временной масштаб по сравнению с привычными масштабами окружающих нас процессов, поэтому попытки пропагандировать всякие «теории» и «эксперименты» во временном масштабе от десятков миллисекунд и выше в земных условиях при отсутствии сверхсильных гравитационных полей и субсветовых скоростей исследуемых объектов могут вызвать только сожаление. Темпоральное поле «работает» в существенно ином временном масштабе, чем непосредственно наблюдаемы нами мир, и это надо учитывать.

Экспериментально доказано существование эффектов релятивистского и гравитационного замедления хода времени с указанными выше погрешностями. Следовательно, какие-либо иные темпоральные эффекты, связанные с изменением хода времени в аналогичных условиях, могут иметь место только в пределах указанных величин. Экспериментальный поиск границ применимости теории относительности пока результатов не дал. Возможно, такие границы обнаружатся при воздействии неизвестных нам факторов, подобно тому, как границы классической механики Ньютона обозначились при высоких скоростях и значительной гравитации.

Данная статья имеет целью содействие в существенном расширении сферы экспериментальной деятельности в области темпорологии и практического применения полученных результатов. Синтез накопленного экспериментального материала и его анализ позволяет построить твердое основание для движения к пониманию самого феномена времени.

Работа по формированию экспериментальной базы темпорологии ведется в рамках лаборатории-кафедры темпоральной механики Института исследований природы Времени. Хочу выразить благодарность д. б. н. А. П. Левичу за предоставленную возможность обсуждения материалов статьи на Российском междисциплинарном семинаре по темпорологии (МГУ).

Л и т е р а т у р а :

1. Эйнштейн А. Работы по теории относительности. — СПб.: ТИД Амфора, 2008.
2. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теория поля. — М.: Наука, 1967.
3. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Квантовая механика. — М.: Наука, 1972.
4. Николенко А. Д. О причинах и особенностях течения времени в псевдоевклидовых пространствах. Доклад на Российском междисциплинарном семинаре по темпорологии (МГУ) 4.10.2011. http://www.chronos.msu.ru/RREPORTS/nikolenko_o_prichinah.pdf
5. Уитроу Дж. Естественная философия времени. — М.: Едиториал УРСС, 2003.
6. Рейхенбах Г. Философия пространства и времени. — М.: Едиториал УРСС, 2003.
7. Левич А. П. Моделирование природных референтов времени: метаболическое время и пространство // На пути к пониманию феномена времени: конструкции времени в естествознании. Часть 3. Методология. Физика. Биология. Математика. Теория систем / Под ред. А. П. Левича. — М.: Прогресс-Традиция, 2009.
8. Левич А. П. Генерирующие флюэнты как архетип моделей в теоретическом естествознании // Пространство и время: физическое, психологическое, мифологическое. — М.: КЦ «Новый Акрополь», 2008. С. 95-102.
9. Гуц А. К. Элементы теории времени. — М.: Издательство ЛКИ, 2011.
10. Бич А. М. Основы теории времени. Киев. Знания Украины. 2005.
11. Лебедев Ю. А. Многоликое мироздание. Эвереттская аксиоматика. — М.: ЛеЖе, 2009.
12. Уилл К. Теория и эксперимент в гравитационной физике. — М.: Энергоатомиздат, 1985.
13. Чернин А. Д. Физика времени. — М.: ТЕРРА-Книжный клуб, 2008.
14. Eddington A. The Nature of the Physical World. — Ann Arbor: University of Michigan Press, 1958.
15. Хокинг С. Краткая история времени: от Большого взрыва до чёрных дыр. Пер. с англ. Н. Я. Смородинской. — СПб.: «Амфора», 2001.
16. Айзерман М. А. Классическая механика. — М.: Наука, 1980.
17. Киттель Ч., Найт У., Рудерман М. Механика. — М.: Наука, 1971.
18. Тейлор Э. Ф., Уиллер Дж. Физика пространства-времени. — М.: Мир, 1971.
19. Фейнман Р. Теория позитронов. Новейшее развитие квантовой электродинамики — М.: Изд-во иностр. лит., 1962.
20. N. Jarosik N. et al. The Astrophysical Journal Supplement Series, **192**, 14, (15pp), 2011 February.
21. Ожун Л. Б., Селиванов К. Г., Телегди В. Л. Гравитация, фотоны, часы. УФН, **16**, 10, 1141, 1999.
22. Irwin I. Shapiro, Gordon H. Pettengill, Michael E. Ash, Melvin L. Stone, William B. Smith, Richard P. Ingalls, and Richard A. Brockelman. Physical Review Letters. **20**, 1265–1269, 1968.
23. J. Lense, H. Thirring. Physikalische Zeitschrift, **19**, 156—163, 1918.
24. Georges Sagnac. Comptes Rendus **157**, 708—710, 1913.
25. Малькин Г. Б. УФН, **170**(12), 1325-1349, 2000.
26. Булах Е. Г., Шуман В. Н. Основы векторного анализа и теория поля. — Киев: Наукова Думка, 1998.

27. Море Ясности // Оксфордская иллюстрированная энциклопедия. Т. 8: Вселенная — М.: «Инфра-М», «Весь мир», 2003.
28. Гинзбург В. Л. УФН, **169**, 4, 419, 1999.
29. Тарасов С. В. Приборы времени. — М.: Машиностроение, 1976.
30. Альтиуллер Г. Б., Елфимов Н. Н., Шакулин В. Г. Кварцевые генераторы: Справочное пособие. — М.: Радио и связь, 1984.
31. Oskay W., Diddams S., Donley A., Frotier T., Heavner T., et al. Phys. Rev. Lett. **97**, 2, 2006.
32. ArXiv: 0911.4527v2 [quant-ph].
33. Chou C. W., D. B. Hume D. B., Rosenband T., Wineland D. J. Science, **329**, 5999, 1630 2010.
34. ArXiv:1110.2490v1[physics. atom-ph].
35. Predehl K, Groshe G, S. M. F. Raupach S. M. F., et al. Science, **336**, 6080, 441-444, 2012.
36. Шпремель М. А. Инженер в лаборатории. —М.: Металлургия. 1983.
37. Kennedy R. J., Thorndike E. M. // Phys. Rev. **42**, 400, 1932.
38. <http://novmysl.finam.ru/SpecialRelativity/KennedyThorndike.html>
39. Ives H. E., Stilwell G. R. JOSA, **28**, 215, 1938.
40. Ives H. E., Stilwell G. R. JOSA, **31**, 369, 1941.
41. Grieser, R.; Klein, R.; Huber, G.; Dickopf, S.; Kluft, I.; Knobloch, P.; Merz, P.; Albrecht, F.; Grieser, M.; Habs, D.; Schwalm, D.; Kühl, T. Applied Physics B Lasers and Optics **59** (2): 127–133, 1994.
42. Saathoff, G.; Karpuk, S.; Eisenbarth, U.; Huber, G.; Krohn, S.; Horta, R. Muñoz; Reinhardt, S.; Schwalm, D.; Wolf, A.; Gwinner, G. Phys. Rev. Lett. **91** (19), 190403, 2003.
43. Reinhardt, S. et al. Nature Physics. **3** (12), 861–864, 2007.
44. Novotny, C. et al. Physical Review A. **80** (2), 022107, 2009.
45. Williams, Roberts. Nature, **145**, 102, 1940.
46. Rossi, Hall. Phys. Rev. **59**, 223, 1941.
47. Maze, Chaminade. Compt. Rend. **214**, 266, 1942.
48. R. P. Durbin, H. H. Loar, W. W. Havens, Jr., Phys. Rev. **88**, 179-183, 1952.
49. В. Д. Шмидт-Омм. УФН, **98**, 3, 1968.
50. H. C. Burrowes, D. O. Caldwell, D. H. Frisch, D. A. Hill, D. M. Ritson, R. A. Schluter, Phys. Rev. Lett. **2**, 117, 1959.
51. Hay, H. J.; Schiffer, J. P.; Cranshaw, T. E.; Egelstaff, P. A. Physical Review Letters. **4** (4), 165–166, 1960.
52. D. C. Champeney, G. R. Isaak, A. M. Khan, Nature. **198**, 1186, 1963.
53. Champeney, D. C.; Isaak, G. R.; Khan, A. M. Proceedings of the Physical Society. **85** (3), 583–593, 1965.
54. Kündig, W. Physical Review. **129** (6), 2371–2375, 1963.
55. Frisch, D. H.; Smith, J. H. American Journal of Physics. **31**(5), 342–355, 1963.
56. Easwar N., Macintire D. A. American Journal of Physics. **59** (7), 589–592, 1991.
57. Coan T; Liu T; Ye J. American Journal of Physics. **74**, (2), 161–164, 2006.
58. ArXiv:physics/0502103.
59. Hafele, J.; Keating, R. Science. **177** (4044), 166–168, 1972.
60. New Scientist, «The clock paradox resolved». Feb 3, 1972.
61. Combley F., Picasso E., Phys. Rep. **14C**, 3, 1974.
62. М. Боулер. Гравитация и относительность. — М, Мир, 1979.
63. Bailey J. et al. Nature, **268**, 301-305, 1977.
64. Саункевич И. С. Экспериментальные корни специальной теории относительности. — М.: УРСС (2003).
65. Lundy R. A. Physical Review. **125** (5): 1686–1696, 1962.
66. Meyer, S. L.; Anderson, E. W.; Bleser, E.; Lederman, I. M.; Rosen, J. L.; Rothberg, J.; Wang, I.-T. Physical Review. **132** (6), 2693–2698, 1963.
67. Eckhause, M.; Filippas, T. A.; Sutton, R. B.; Welsh, R. E. Physical Review. **132** (1): 422–425, 1963.
68. Balandin, M. P.; Grebenyuk, V. M.; Zinov, V. G.; Konin, A. D.; Ponomarev, A. N. JETP. **40**, 811, 1974.
69. Nordin, P. Physical Review. **123** (6), 2168–2176, 1961.
70. Boyarski, A. M.; Loh, E. C.; Niemela, L. Q.; Ritson, D. M.; Weinstein, R.; Ozaki, S. Physical Review. **128** (5), 2398–2402, 1962.
71. Lobkowicz, F.; Melissinos, A. C.; Nagashima, Y.; Tewksbury, S.; von Briesen, H.; Fox, J. D. Physical Review. **185** (5), 1676–1686, 1969.
72. Ott, R. J.; Pritchard, T. W. Physical Review D. **3** (1), 52–56, 1971.
73. Skjeggstad, O.; James, F.; Montanet, L.; Paul, E.; Saetre, P.; Sendall, D. M.; Burgun, G.; Lesquoy, E.; Muller, A.; Pauli, E.; Zylberajch, S. Nuclear Physics B. **48** (2), 343–352, 1972.
74. Geweniger, C.; Gjesdal, S.; Presser, G.; Steffen, P.; Steinberger, J.; Vannucci, F.; Wahl, H.; Eisele, F.; Filthuth, H.; Kleinknecht, K.; Lüth, V.; Zech, G. Physics Letters B. **48** (5), 487–491, 1974.
75. Carithers, W. C.; Modis, T.; Nygren, D. R.; Pun, T. P.; Schwartz, E. L.; Sticker, H.; Christenson, J. H. Physical Review Letters. **34** (19), 1244–1246, 1975.
76. Eckhause, M.; Harris, R. J., Jr.; Shuler, W. B.; Siegel, R. T.; Welsh, R. E. Physics Review Letters. **19** (4), 348–350, 1967.

77. Nordberg, M. E.; Lobkowicz, F.; Burman, R. L. *Physics Review Letters B*. **24** (11), 594–596, 1967.
78. Greenberg, A. J.; Ayres, D. S.; Cormack, A. M.; Kenney, R. W.; Caldwell, D. O.; Elings, V. B.; Hesse, W. P.; Morrison, R. J. *Physical Review Letters* **23** (21), 1267–1270, 1969.
79. Ayres, D. S.; Cormack, A. M.; Greenberg, A. J.; Kenney, R. W.; Caldwell, D. O.; Elings, V. B.; Hesse, W. P.; Morrison, R. J. *Physical Review D*. **3** (5), 1051–1063, 1971.
80. Quill E. *ScienceNow*, 13 November 2007.
81. Тұрышев Б. Г. *УФН*, **179** (1), 3–34, 2009.
82. Pound R. V., G. A. Rebka Jr., *Physical Review Letters*, **3**(9), 439–441, 1959.
83. Pound R. V., G. A. Rebka Jr., *Physical Review Letters*, **4**, (7), 337–341, 1960.
84. Pound R. V., J. L. Snider. *Physical Review Letters*, **13** (18), 539–540, 1964.
85. Паунд Р., Ребка Г. *УФН*. **72** (4), 674–683, 1960.
86. Pound R. V., Snider J. L. *Phys. Rev.* **140 B**, 788–803, 1965.
87. Cranshaw T. E., Schiffer I. P., Whitehead A. B. *Phys. Rev. Lett.*, **4**, 163, 1960.
88. Мельников С. А. *Изв. ГАО № 175*. **23** (5) — Пулковое: С. 3–20, 1964.
89. Руденко В. Н. *УФН*, **126**(3) 361, 1978.
90. Alley C. O., Cutler L. S., Reisse R. A., Williams R. W., Steggerda C. A., Rayner J., Mullendore J. and Davis S.— In: *Experimental Gravitation: Proc. of the Conference on Experimental Tests of Gravity*/Ed. B. Bertotti.—N. Y.: Academic Press, 1977.—Course 56, «Enrico Fermi» School of Physics. Pavia, Italy, 1976.
91. Vessot R. F. C. *et al.*. *Physical Review Letters*. **45** (26), 2081–2084, 1980.
92. <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/viking.html>
93. <http://voyager.jpl.nasa.gov/>
94. Iijima S., Fujiwara K., *Annals of the Tokyo Astronomical Observatory. Second Series*. v. XVII, N 2, p.68, 1978.
95. Briatore L., Leschiutta S., *Il Nuovo Cimento B* **37**, 219, 1979.
96. [ArXiv:astro-ph/0407149v1](https://arxiv.org/abs/astro-ph/0407149v1).
97. <http://saturn.jpl.nasa.gov/>
98. Kramer M., *et al.* *Science*, **314**, (5796), 97–102, 2006.
99. Holger Müller, Achim Peters, Steven Chu. *Nature*. **463**, 926–929, 2010.
100. F. Abe *et al.* *Physical Review Letters* **74** (14), 2626–2631, 1995.
101. [CERN experiments observe particle consistent with long-sought Higgs boson](#) — Пресс-релиз CERN, 4.07.2012.
102. ГЛОНАСС: принципы построения и функционирования / Под ред. А. И. Перова, В. Н. Харисова. 3-е изд., перераб. — М.: Радиотехника, 2005.
103. Липкин И. А. *Спутниковые навигационные системы*. — М.: Вузовская книга, 2001.
104. Ashby N., *Relativity in the Global Positioning System Living Rev. Relativity*, **6**, 1, 2003.

Статья поступила в редакцию 03.12.2012 г.

Nikolenko O. D.

Introduction to Experimental and Practical Temporology

Institute for Time Nature Explorations

E-mail: alniko@ukr.net

Necessity and urgency of formation of a new scientific direction — Experimental and Practical Temporology is proved. Existing fundamental theory in Physics does not explain the cause of the monotonic increase of time coordinate in all of the massive physical objects. This and other issues related to the concept of time are the subject of an emerging scientific discipline — Theoretical Temporology — i.e. the study of time. At the same time, experimental data on the characteristics of the time flow was accumulated in various branches of Physics. In a number of areas theoretical research moved on to a practical level, particularly in the constructing of the accelerating systems in experimental Physics. Characteristics of time flow are taken into account in construction of the space-based global navigation systems. Thereby we now have the possibility to generalize this material within general research, and that will allow analyzing it under common scientific grounds. The foundation of experimental research in this area will have a positive impact on the planning and conducting of new experiments on time flow and its practical usage and will be the foundation for construction and experimental testing of the developing theories on time flow.

Key words: theory of relativity; time current; management of time current; experimental and practical temporology; the experimental physics.