

Времена и люди **Джон Уилер:** смелый консерватизм в науке

доктор педагогических наук Р.Н.Щербаков (Таллин, Эстония)

e-mail: robert.scherbakov@rambler.ru

Выдающийся американский физик Дж.А.Уилер (1911–2008) знаменит своими работами по квантовой механике и ядерной физике, общей теории относительности и квантовой гравитации, астрофизике и космологии. Он был также известен предсказанием тенденций развития фундаментальных законов Вселенной. Его трудами создана крупная американская научная школа физиков.

Ключевые слова: Теория Бора—Уилера, геометродинамика и квантовая гравитация, информация и законы физики, научная школа Уилера и «семья гравитационистов».

Уилера толкала вперед жажда узнать, что лежит за пределами установленных законов.

К.С.Торн

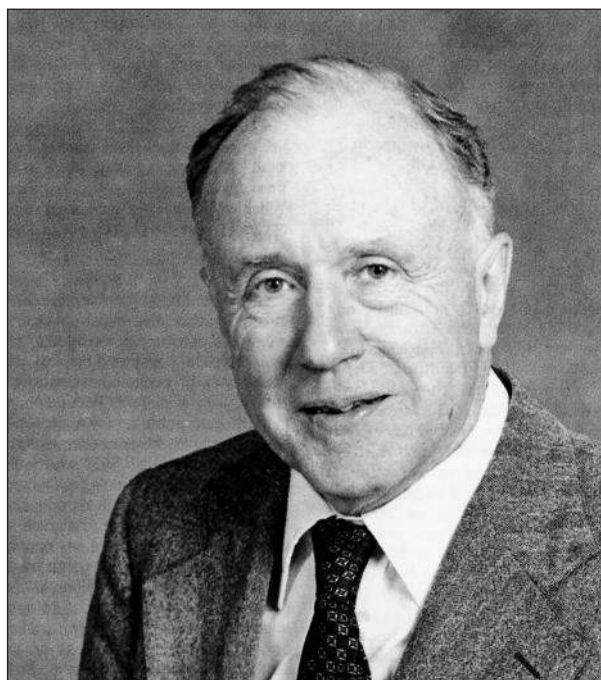
Джон Арчибалд Уилер родился 9 июля 1911 г. в г.Джэксонвилле (Флорида, США). В годы учебы в Университете Джонса Хопкинса он заинтересовался как взрывчатыми веществами и механическими устройствами, так и тонкостями атомно-молекулярного учения. С изучением инженерного дела Уилеру открылась ценность математики при решении задач, за которые он брался в течение последующей работы в области науки и техники.

Его научную деятельность можно разделить на три основных следующих друг за другом этапа. Первый, продолжавшийся до начала 1950-х годов, был посвящен идее, что всё в мире — это частицы. Второй основывался на увлечении общей теорией относительности и вытекающей из нее идеей, что всё определяют поля. На последнем этапе (1990–2008 гг.) своих исследований ученый подошел к пониманию значения логики и информации как основы будущей физической теории.

Окончив в 1932 г. университет, Уилер в возрасте 21 года получил докторскую степень по квантовой физике — как раз в тот момент, когда в науке стала очевидной значимость открытий Э.Р.А.Шрёдингера и В.К.Гейзенберга. В том же году был открыт нейтрон, а Д.Д.Иваненко и В.К.Гейзенберг выдвинули гипотезу, что ядра состоят из протонов и нейтронов. Эти открытия позволили представить ядро так же ясно, как сам атом.

Вот как Джон вспоминал эти годы: 1933–1934 гг. я проработал у Грегори Брейта*, который оказал

* Г.Брейт (1899–1981) — американский физик. Занимался ядерной физикой, квантовой механикой и электродинамикой, физикой высоких энергий и вопросами теории ускорителей. Член Национальной академии наук США (1939).



Дж.А.Уилер.

Фото из коллекции Техасского университета
www.quotationof.com

на меня большое влияние. В эти дни как он, так и вся его группа интуитивно придерживались следующей модели ядра: нейтроны и протоны двигались в общем самосогласованном поле, аналогичном электрическому полю атома. Принятая нами модель была не только «недоработанной», она была во многом неясной [1, с.709].

Получив стипендию для продолжения образования, Уилер по совету Брейта провел 1934 год в Копенгагене, в Институте Нильса Бора при Ко-

пенгагенском университете. Здесь он вместе с датским физиком К.Мёллером* приступил к изучению новых идей относительно атомного ядра, познакомился с экспериментами Э.Ферми на медленных нейтронах, попытался проанализировать их вместе с другими стажерами. Однако без участия Н.Х.Д.Бора у них мало что получалось.

Отсутствие в институте Бора, связанное с его переживаниями по поводу гибели сына, не позволило Уилеру «по-настоящему» встретиться с ним в 1934 г. И лишь к концу стажировки, когда Бор стал приходить в свое привычное творческое состояние, начались беседы с ним. Но было уже поздно. Весной 1935 г. Джон был вынужден возвратиться домой в США, где до 1938 г. работал в Университете Северной Каролины.

Исследования по квантовой механике и делению ядра

Однако еще до этой поездки он вместе с Брейтом создал теорию процесса рождения электрон-позитронной пары при столкновении двух фотонов, который принимает форму взаимодействия γ -квантов в ходе такого превращения. Подобный процесс был предсказан ими для сильных электрических полей и применения лазерных импульсов большой мощности.

Процесс этот — одно из проявлений эквивалентности массы и энергии — не наблюдался на практике из-за сложности фокусировки встречных γ -лучей. Но в 1997 г. в Национальной ускорительной лаборатории удалось реализовать процесс Брейта—Уилера, используя электроны для создания высокоэнергетических фотонов, которые, участвуя в целом ряде столкновений, в итоге превращались в электроны и позитроны.

Продолжая исследования, Джон в 1937 г. для описания взаимодействий ввел в обиход матрицу рассеяния (S-матрицу, элементы которой описывают физические параметры рассеяния), а также понятие унитарной симметрии.

В 1939 г. Бор прибыл в Принстон, где Уилер преподавал уже год. Там, опираясь на открытие деления ядра (сделанное Л.Мейтнер и О.Р.Фришем), он вместе с Джоном разработал квантовую теорию явлений в тяжелых ядрах при их взаимодействии с нейтронами. Согласно ей, механизм деления ядра базируется на капельной модели деления ядра. Эта теория изложена в журнале

* Кристиан Мёллер (1904–1980) — датский физик. Специалист по теории относительности, квантовой механике, квантовой теории поля, а также по физике элементарных частиц и матрице коэффициентов (последняя связывает асимптотическое поведение произвольного частичного решения интегрального уравнения с решениями в стандартной форме). Причем сделал он это независимо от Гейзенберга, который предложил матрицу рассеяния в 1943 г.



Н.Бор и А.Эйнштейн — учителя Дж.Уилера.

«Physical Review» в июле 1939 г. в статье «Механизм деления ядер». В ней же было доказано, что редкий в природе изотоп ^{235}U делится под действием тепловых нейтронов.

Авторы писали: *...объяснение, которое мы можем дать на основе капельной модели ядра не только самой возможности делений, но также зависимости сечения деления от энергии и изменения критической энергии от ядра к ядру, в главных чертах подтверждается сравнением данных наблюдений с теоретическими предсказаниями* [2, с.349]. Последний раз Уилер (с группой историков науки) встретился с Бором в Нью-Йорке в 1961 г. при обсуждении проекта «Архив источников к истории квантовой физики».

Заметка о теории деления тяжелых ядер несколько ранее была опубликована Я.И.Френкелем в «Journal of Physics» (издаваемом в СССР) и «Physical Review». Ее расширенный вариант Френкель отправил и Бору. В примечании к упомянутой совместной с Уилером статье Бор отметил, что у Френкеля *содержится вывод уравнения... описывающего стабильность ядра относительно произвольных малых деформаций, а также некоторые замечания о форме капли в состоянии неустойчивого равновесия...* [2, с.308].

В том же 1939 г. Дж.Уилер с Э.Ферми, Ю.Вигнером и Л.Сцилардом математически обосновал воз-

возможность цепной реакции деления урана, объяснил отрицательное влияние продуктов деления на ход цепной реакции и разработал методы управления ядерным реактором. Сам Джон выдвинул идею об универсальности фермиевого взаимодействия, что помогло практике освоения цепной реакции. Вслед за работами О.Н.Бора и Б.Р.Моттельсона в 1950–1952 гг., Дж.Уилер вместе с Д.Л.Хиллом в 1953 г. разработал коллективную модель ядра и предсказал существование мезоатомов (в которых часть или все электроны заменены на другие элементарные частицы с отрицательным электрическим зарядом).

В 1940 г., когда уже шла Вторая мировая война, американские ученые А.Нир и Дж.Р.Даннинг провели эксперимент, подтвердивший гипотезу Бора—Уилера о делении ядер урана под действием медленных нейтронов, что действительно происходит для изотопа ^{235}U . Это было важно для работ по атомной энергии и в мирных, и в военных целях. Сам Уилер в 1942 г. занялся наладкой, проверкой надежности и устранением неполадок в работе первого в США реактора в Хэнфорде.

Двумя годами ранее его ученик Р.Ф.Фейнман работал над докторской диссертацией. В ходе ее обсуждения была создана теория Уилера—Фейнмана об излучении, описывающая взаимодействие двух заряженных частиц через волны, распространяющиеся вперед и назад во времени (в фейнмановском мире приставка «анти» в названии частицы означала ту, что движется назад во времени). Из-за изменения фаз на заряженных частицах эти волны взаимно уничтожаются везде, кроме области пространства-времени между самими частицами, где они усиливают друг друга.

Авторы теории решили выяснить, что происходило бы в мире, где запаздывающие и опережающие волны существуют на равных основаниях. Если сигналы, посылаемые в прошлое, полностью гасятся своим эхом, то в непрозрачной Вселенной будут только запаздывающие, посылаемые в прошлое электромагнитные волны, даже если каждая заряженная частица будет излучать одинаково как запаздывающие, так и опережающие волны. В итоге обычная радиопередача станет поистине событием космического масштаба.

Уилер предложил гипотезу одноэлектронной Вселенной. Она послужила основой при создании модели Вселенной, в которой все электроны — это один электрон, находящийся попеременно в разных точках пространства. Предпосылкой для создания Джоном этой гипотезы стал принцип тождественности электронов, т.е. невозможность экспериментально различить два электрона. В 1965 г. в своей нобелевской речи Фейнман рассказал о телефонном разговоре с Уилером на эту тему. В разговоре Уилер заметил: «Фейнман, я знаю, почему у всех электронов одинаковый заряд и одинаковая масса». Почему? «Потому что

все они — это один и тот же электрон!». Однако, — продолжил Фейнман, — я ухватился за его мысль о том, что позитроны можно представлять просто как электроны, идущие из будущего в прошлое... Вот это я и присвоил! [3, с.36]. В 1948 г. Фейнман разработал подход к квантовой теории, согласно которому античастица рассматривалась как частица, движущаяся обратно во времени.

В последующие годы квантовая механика в гипотезах и делах Джона воплотилась в ряде исследований и поступков, чему способствовали следующие обстоятельства. Во-первых, квантовая механика (вместе с общей теорией относительности) развивалась и применялась в разных областях физики первой половины XX в., став составной частью астрофизики и космологии (Уилер и его сторонники попытались с ее помощью решить ряд актуальных проблем).

Во-вторых, оказался полезным богатейший опыт, полученный Уилером в ходе работ по созданию атомной и водородной бомб. Он позволил ученому и его ученикам применить накопленные представления о поведении вещества при высочайших давлениях и температурах к изучению процессов, протекающих при образовании во Вселенной черных дыр, а также объяснить их существование как возможных квантовых объектов.

В-третьих, всю жизнь Джон занимался квантовой механикой ради понимания природы квантовых наблюдений и поисков ответа на вопрос: «Откуда взялся квант?», ради разгадки тайн Вселенной и своей идеи изменчивости законов после схлопывания Вселенной, ради выяснения возможной роли информации в постижении законов мира и т.д., прибегая при этом к ставшим известными впоследствии мысленным экспериментам.

И, в-четвертых, в 1960 г. Уилер из чисто гуманитарных соображений возглавил Архивный комитет по сбору информации от создателей квантовой науки. Нужно было спешить, ибо уже в 1954–1960 гг. ушли из жизни Э.Ферми, А.Эйнштейн, Дж. фон Нейман, Э.В.Паули, а в 1961 г. — Э.Р.Й.А.Шрёдингер, так что в рядах исследователей квантовой механики возник зияющий пробел. К счастью, оставались еще в живых В.К.Гейзенберг, Н.Бор, П.А.М.Дирак, М.Борн и многие другие классики, все же позволившие сохранить историю этой науки для общества.

Геометродинамика Джона Уилера

В 1950-х годах развитие квантовой теории продолжалось, и большинство физиков предпочитало заниматься ею. Общая теория относительности тогда уже потеряла свою актуальность, а Эйнштейн с его попытками создать единую теорию поля оказался практически в одиночестве, разбавляемом лишь отдельными учениками. При жизни

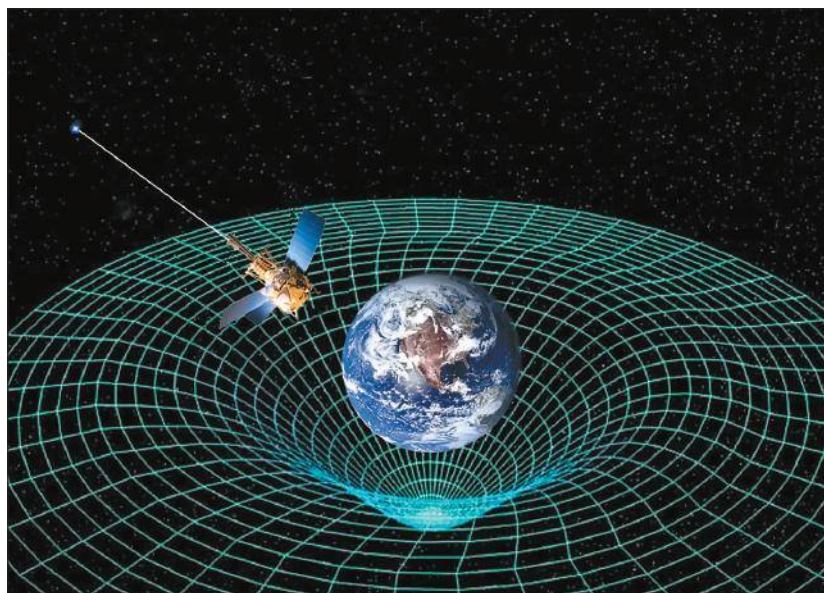
Эйнштейна не было проведено ни одной международной конференции или Сольвеевского конгресса, посвященных обсуждению общей теории относительности и ее роли в существовании Вселенной. Занятие этой проблемой казалось делом малоперспективным, и только отдельные ученые (и среди них профессор Уилер) еще сохраняли веру в ее будущее в науке, и в этом, кстати, была их немалая заслуга.

С 1938 г. Джон надолго обосновался в Принстонском университете. Как и Эйнштейн, служивший там же, он полагал, что путь к законам природы лежит через общую теорию относительности. Но, как ученик Бора, верил также в значительные возможности квантовой механики. Поэтому Уилер не просто занялся теорией гравитации как таковой, но, привлекая квантовую механику Бора и Гейзенберга, попытался примирить две науки и заставить их служить разгадке тайн Вселенной и бытия в целом.

Воплощение в жизнь своей идеи Джон начал в 1952 г. с преподавания теории относительности. В мае 1953 г. он с согласия Эйнштейна пригласил студентов своего курса на встречу с ним, чтобы побудить их к серьезному изучению этой теории. Спустя год он убедил Эйнштейна провести семинар для избранной группы студентов-физиков с надеждой на их увлечение релятивистской гравитацией в ближайшем будущем. Впрочем, и самому Уилеру беседы с Эйнштейном принесли немалую пользу.

Успех Джона в решении этой сложнейшей проблемы — релятивистской гравитации — определили две его особенности. Во-первых, способность интуитивно выбирать такие пути исследования, которые ведут к прогрессу в постижении загадок Вселенной. Во-вторых, энергия личности, которая вызывала у его окружения преклонение перед ним как ученым и безоговорочную веру в его способности пробудить у своих последователей их таланты и волевые качества для изучения поставленных перед ними задач.

Годы спустя Уилер вспоминал об этом как о *первом шаге на территорию, захватившую... воображение и на всю жизнь задавшую направление... дальнейших исследований* [4, с.141]. Подобно А.С.Эддингтону и В.А.Фоку, Джон не считал удачным название *общая теория относительности*, предпочитая называть науку *геометродинамикой*, чтобы подчеркнуть, что сущность этой теории заключена в ее динамической геометрии, изменяющейся в пространстве и времени.



Как материя искривляет пространство-время.

Изображение НАСА

В 1955 г. Уилер предложил геометродинамическую модель объекта, заменяющую массу, — *геон*. По его определению, *геон — это... сгусток электромагнитного или гравитационного излучения или обоих вместе, который удерживается как одно целое гравитационным притяжением* [5, с.22]. Тем самым он пытался перейти к геометризации физики, т.е. к воплощению идеи У.К.Клиффорда об искривлениях и деформациях в ткани пространства как основе явлений и природы реальности в целом.

Отказ ученого от концепции *частиц как точек* и переход его к идее *частиц как дырок* открывал в те годы теоретикам возможности для понимания загадок природы с позиций здравого смысла. С этой целью в работе «Геоны» Джон привел наглядные иллюстрации того, как специфические феномены в искривленной геометрии пространства способны порождать эффекты *массы без массы* и *электрического заряда без заряда*, обеспечивая в итоге ученых объективными знаниями о мире.

Уилер посчитал нужным возвратиться в физику и идею А.Эйнштейна и Н.Розена (1935) о раздвоенной природе электрических зарядов как о двух концах одной и той же трубки-перемычки, проходящей через другое измерение в ткани пространства, по Джону — *кратовой норы*, два конца которой могли бы соответствовать, например, паре электрон-позитрон. Нужны только своего рода *дыры* в пространстве, заполняемые электрическими полями зарядов.

В том же 1955 г. Джон предпринял первую попытку в объединении законов квантовой механики и общей теории относительности. Он пришел к выводу, что в области размерности Планка—Уи-

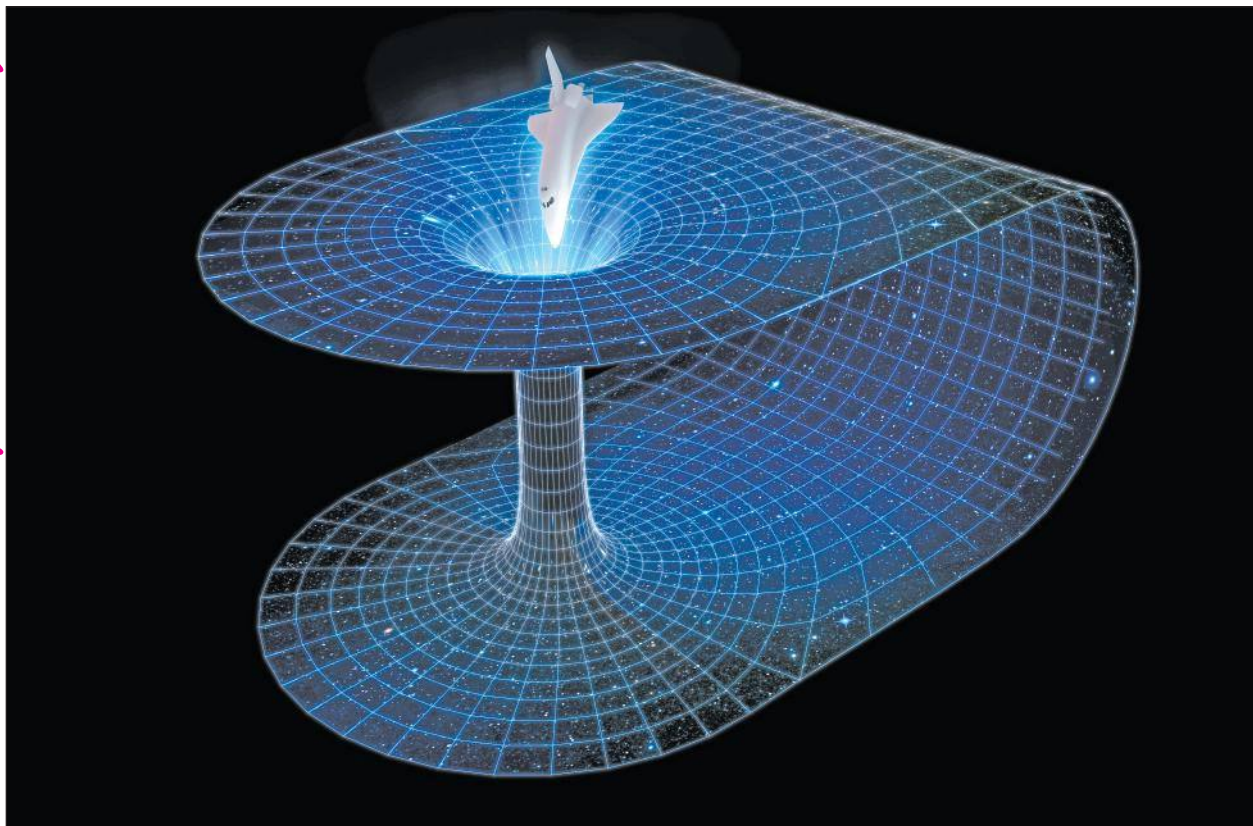
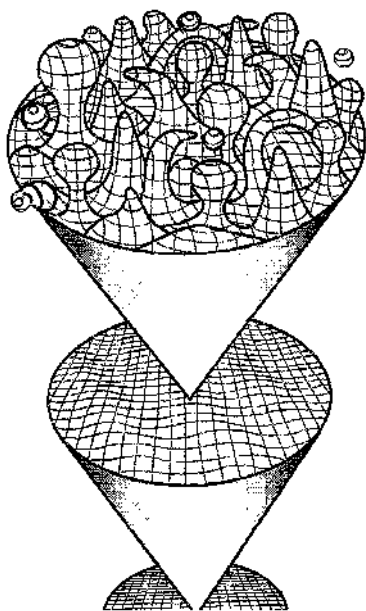


Иллюстрация идеи А.Эйнштейна и Н.Розена. Уилер назвал ее кротовой норой в пространстве-времени.

Рисунок А.Войцицкого (Science Photo Library, Getty Images).
www.thoughtco.com



Рисунок, изображающий флуктуацию вакуума в области размерности Планка—Уилера и образование квантовой пены.

лера ($1.62 \cdot 10^{-33}$ см или меньше) флуктуации вакуума так велики, что само пространство «вскипает», превращаясь в квантовую пену — ядро сингулярности пространства-времени*. Понимая сложность проблемы, он проанализировал пути ее решения, предлагаемые другими учеными.

Впрочем, еще в 1916 г. Эйнштейн понял, что *квантовая теория должна модифицировать не только максвелловскую электродинамику, но также и новую теорию гравитации* [6, с.522], в 1918 г. он вновь заметил, что *построение усовершенствованной квантовой теории должно повлечь за собой и видоизменение теории тяготения* [6, с.642], а в 1935 г. М.П.Бронштейн** в своей докторской диссертации уже предложил квантование гравитационных волн.

* Сингулярность — область пространства-времени, в которой его кривизна становится настолько сильной, что нарушаются законы общей теории относительности и вступают в действие законы квантовой гравитации.

** Матвей Петрович Бронштейн (1906–1938) — советский физик-теоретик, доктор физико-математических наук, профессор. Работал в области квантовой теории, астрофизики, теории полупроводников, космологии и теории квантовой гравитации, автор научно-популярных книг. В 1938 г. по решению НКВД был расстрелян.

Вскоре после кончины Эйнштейна в Берне прошла международная конференция, посвященная 50-летию создания теории относительности. Результаты конференции, однако, оказались рядовыми. В 1957 г. в Чепел-Хилле (США) состоялась вторая конференция, на которой собрались лишь ученые, исследовавшие проблемы гравитации. Конференция вдохновила их к осознанию идейного единства и привела к формированию «семьи гравитационистов». Во главе ее стал Уилер с его пониманием классической физики как геометрии.

Однако на практике желаемое развитие космологии шло далеко не просто. Об этом свидетельствует и письмо Фейнмана жене с конференции по общей теории относительности и гравитации, прошедшей в Варшаве в 1962 г.: *Я ничего не получил от этой встречи. Я ничему не научился. Из-за отсутствия экспериментов эта область неактивна, так что лишь немногие из лучших умов занимаются ею. <...> Напомни мне больше не ездить ни на какие гравитационные конференции!* [7, с.46].

Физика есть геометрия

Еще в 1957 г. Уилер пришел к выводу, что *физика есть геометрия* [8, с.544]. Под этим он понимал, что из вопросов, занимавших мыслителей всех времен, ни один не может претендовать на большую значимость, чем вопрос о происхождении Вселенной. Немало сделавший для создания атомного и водородного оружия и понимания теории гравитации, Джон лишь после работы Дж.Р.Оппенгеймера и Х.С.Снайдера (1939) о так называемых черных дырах признал возможность их возникновения при коллапсе ядер звезд достаточно большой массы.

Но свет из таких звезд не сможет вырваться, поэтому Я.Б.Зельдович и И.Д.Новиков назвали их *темными* (или *замороженными*) звездами. Более удачный термин был предложен Уилером, назвавшим их на конференции в Нью-Йорке в 1967 г. *черными дырами* (черными — поскольку они не могут излучать свет, а дырами — ибо всякий объект, приблизившийся к ним на слишком малое расстояние, уже никогда не возвращается назад). С тех пор это название закрепилось и устоялось в научной литературе.

При этом Джон еще в 1964 г. заметил, что *каждый чувствует, что имеет, наконец (в лице схлопывания звезд), явление, где явно выступает общая теория относительности и где может*

осуществиться пламенный союз с квантовой физикой [9, с.260]. О том же говорят предложенные им термины и образы: *квантовая пена* — для искривленного пространства под влиянием квантово-механических флуктуаций гравитационного поля, *у черных дыр нет волос* — т.е. нет силовых линий магнитного поля.

Став крупным экспертом в физике структуры материи, квантовой механике и ядерной физике, Дж.Уилер помог своему ученику Б.К.Гаррисону объяснить, как возрастает давление вещества, если постепенно сжимать его до все больших плотностей. Итогом стало уравнение состояния холодного мертвого вещества — уравнение Гаррисона—Уилера. Затем по его просьбе М.Вакано объединил это уравнение с уравнениями общей теории относительности для баланса гравитации и давления внутри звезды.

Тот же Вакано, применив один из первых цифровых компьютеров в Принстоне, получил из дифференциального уравнения каталог холодных мертвых объектов Вселенной и вместе с Уилером в 1958 г. выяснил, что схлопывание становится неизбежным, если умирает звезда с массой больше двух солнечных, образуя черную дыру. Так, опираясь на свои знания о водородной бомбе, Джон, по словам К.С.Торна, *заполнил провалы в нашем знании о холодных мертвых звездах* [9, с.235].

По П.Дэвису, *квантовая механика для Вселенной, возможно, самая дерзкая экстраполяция физической теории за всю историю науки, и здесь Джон Уилер... играл ведущую роль. <...> Он выдвинул гипотезу, что так же как квантовая механика спасла классическую от расходящихся величин и предсказала существование стабильных атомов конечных размеров, та же квантовая механика могла бы поправить и ситуацию с син-*



Образное изображение черной дыры и окружающего ее диска.

гулярностью Большого взрыва, размыв ее гейзенберговской неопределенностью [10, с.10].

В 1960 г., благодаря усилиям Дж.Уилера и Б.С.Девитта, появилось на свет уравнение для волновой функции Вселенной, своего рода модификация уравнения Шрёдингера, но только для застывшего квантового состояния Вселенной. Оно положило начало квантовой теории гравитации, объединяющей явления и взаимодействия микро- и макромира, и квантовой космологии (Вселенная образовалась в результате квантового процесса). Решение этого уравнения было получено позднее.

В 1970 г. аспирант Уилера Я.Д.Бекенштейн предположил, что черные дыры должны иметь энтропию, пропорциональную площади их поверхности. Бекенштейн сформулировал и обобщенный второй закон термодинамики, применимый в том числе для систем черных дыр. В 1974 г. оба предположения были подтверждены С.У.Хокингом*, который вначале опроверг идеи Бекенштейна, а затем все же согласился с ними.

Со временем Дж.Уилер вместе с Б.С.Девиттом, Ч.У.Мизнером, С.У.Хокингом и Р.Пенроузом стали ведущими специалистами по квантовой космологии, связавшей теорию гравитации с квантовой физикой. Согласно этой теории, во Вселенной отсутствует время, а квантовый космос не развивается и не меняется, не расширяется и не сжимается, он просто есть. Пока квантовая космология остается теорией без надежных экспериментальных подтверждений.

В 1968 г. Джон подчеркнул: *Геометрия, лишь слегка искривленная, описывает гравитацию. Геометрия, искривленная несколько по-другому, описывает электромагнитную волну. Геометрия с новым типом возбуждения дает магический материал — пространство — для построения элементарной частицы. И ничего инородного, «физического» в этом пространстве нет. Все, что есть в мире, состоит из геометрии* [5, с.64].

Пройдут десятилетия, и геометродинамику вытеснит давно известная теория Калуцы—Клейна** (1926), в ней используется уже 11 измерений, при которых заметно возрастает разнообразие и сложность физических структур. Остается надеяться (и первые свидетельства этому уже появились), что и эту геометрию удастся объяснить с помощью квантовых явлений, как это предлагалось программой Уилера.

* Стивен Уильям Хокинг — английский ученый, один из величайших космологов современности, немало сделавший для понимания нашей Вселенной, ее становления и развития. Ушел из жизни 12 марта 2018 г.

** Теория Калуцы—Клейна — теория гравитации, объединившая гравитацию и электромагнетизм. Теория была впервые опубликована в 1921 г. немецким математиком Теодором Калуцей, расширившим пространство Минковского до пятимерного, а обоснование ненаблюдаемости пятого измерения было предложено в 1926 г. шведским физиком Оскаром Клейном.

Его усилия по развитию теории квантовой гравитации были подхвачены учеными. По замечанию Л.Смолина***, *за последние полвека были предложены многочисленные подходы к ее изучению... Но два подхода из пяти-шести вот уже на протяжении 18 лет являются предметом постоянных исследований большого количества физиков и математиков. Это теория струн и петлевая квантовая теория гравитации* [10, с.432].

Со своей стороны, Джон, оценивая роль кванта в понимании самой Вселенной, подчеркнул, что пока мы не увидим квантовый принцип во всей его простоте, мы можем считать, что не знаем самого главного о Вселенной, о нас самих и о нашем месте во Вселенной. И потому окончательный рассказ о связи между квантом и Вселенной не завершен [11, с.546, 556].

От частиц и полей — к информации

Подводя итоги всех трех периодов своего научного творчества, Уилер в 1998 г. выпустил книгу воспоминаний «Геоны, черные дыры и квантовая пена: жизнь в физике». Если вначале главную роль в природе Джон отводил частицам, а затем полям, то последние десятилетия своей жизни посвятил идее: *Всё — это информация. Чем больше я размышляю о квантовых тайнах и об информации как основе физической теории, нашей странной способности постигать тот мир, в котором мы живем, тем больше вижу фундаментальное, верооятно, значение логики* [12, с.63–64].

По Уилеру, объекты следует рассматривать как вторичные, как носители абстрактной и фундаментальной сущности — информации, вещество же и излучение — материальные проявления чего-то более фундаментального. В таком случае информация (а именно, где частица находится, каков ее спин, положителен или отрицателен ее заряд и т.д.) образует целостное ядро самой физической реальности. В 1990 г. ученый высказал предположение, что информация — это фундаментальная концепция физики. Согласно его идее *it from bit* (всё из бита), все сущности в своей основе — информационно-теоретические. От способа измерения Вселенной она меняется и предстает перед нами в новом обличье.

Таким образом, по воспоминаниям его ученика Торна, *Уилера толкала вперед жажда узнать, что лежит за пределами установленных законов. Он постоянно вторгался в области, где не срабатывали известные законы и в игру вступа-*

*** Ли Смолин — американский физик-теоретик, профессор канадского университета Ватерлоо — известен работами по теории струн, петлевой квантовой гравитации, космологии и теории элементарных частиц. Занимал 21-е место в списке 100 выдающихся мыслителей мира (по версии журнала «Foreign Policy», 2008).

ли новые. Он пытался проскочить в XXI век, взглянуть на то, как могли бы выглядеть законы физики за пределами ограничений текущего века. Из всех мест, откуда можно было бросить такой взгляд, ни одно не казалось Уилеру столь многообещающим, как стык общей теории относительности (область большого) и квантовой механики (область малого) [9, с.233].

Вдохновенный провидец в науке — так называли Уилера его ученики и коллеги по квантовой механике и гравитации. Об этом свидетельствуют как его научные исследования, направленные на познание основных запредельных законов природы, так и поддержанные им гипотезы и теоретические построения его учеников, того же Р.Ф.Фейнмана, а также Х.Эверетта III, К.С.Торна, М.Тегмарка и многих других.

Нобелевский лауреат Ф.Вильчек в своей последней книге (в русском издании она вышла под названием «Тонкая физика») написал о Уилере (в то время еще живом) точные и проникновенные слова, отражающие манеру его научного творчества: *Джон Уилер обладает даром облекать глубокие идеи в броские фразы. «Черная дыра», вероятно, его самое известное творение, однако моим любимым является выражение «все из бита». В этих трех словах заключен вдохновляющий идеал теоретической науки. Мы стремимся найти математические структуры, которые отражают реальность настолько полно, что ни один важный аспект не остается неучтенным* [13, с.153]. Увы, на английском языке эта книга вышла уже после смерти Уилера*.

Чем дальше уходил Уилер от присущего науке XX в. подхода к гипотезам о скрытых законах при-

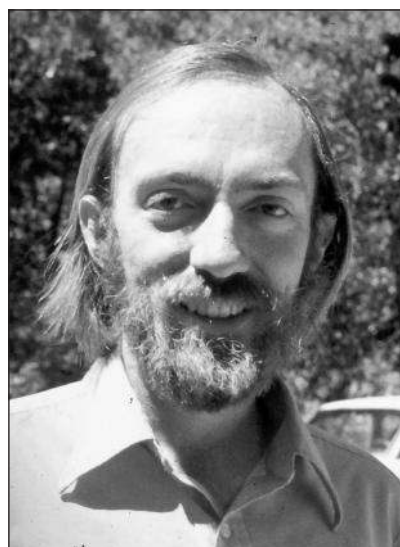
роды, стоящих за уже известными нам законами, и чем больше он приближался к метафизическим размышлениям, тем сомнительнее для коллег выглядели его выводы и предсказания и тем меньше доверия у новых поколений научного сообщества вызывали они и его научная деятельность. Разумеется, Джон ощущал это. Но он беспокоился за свой научный авторитет не столько среди коллег, сколько среди веривших в него учеников и последователей его идей. Уже в 1979 г. он написал о себе: *Уилер ведет людей за собой... Будущее многих из них зависит от успеха на пути, по которому он ведет. Он не может их подвести. Он отвечает за исполнение взятых на себя обязательств* [14, с.389].

Ученики и последователи Уилера

За свои открытия Уилер не получил Нобелевскую премию. Но он преуспел в деле воспитания исследователей, что не менее важно для науки XX в. Целый ряд его учеников добился в науке мирового признания, причем в решении как раз тех проблем квантовой физики, астрофизики и космологии, которым Джон посвятил свои лучшие годы.

Вот наиболее выдающиеся его ученики и их главные открытия. Р.Ф.Фейнман — квантовая электродинамика и диаграммы Фейнмана, Х.Эверетт — теория параллельных миров, Ч.У.Мизнер — общая теория относительности, У.Дж.Унру — гравитация, космология, К.С.Торн — гравитация, астрофизика и квантовая теория измерений, Я.Д.Бекенштейн — энтропия черных дыр, Р.Прайс — пульсация черных дыр, М.Тегмарк — гипотеза математической Вселенной. И этот список можно продолжить.

В общении с Джоном ученики могли наблюдать рождение его новых идей и подходов к их реализации. Свои идеи ученый записывал в блокнот, затем



К.С.Торн. 1972 г.



Р.Фейнман. 1957 г.



Х.Эверетт III. 1964 г.

* Wilczek F. The Lightness of Being: Mass, Ether, and the Unification of Forces. N.Y., 2008.

они обрастали соображениями, служившими стимулом в решении конкретных научных задач. В библиотеке Американского философского общества в Филадельфии хранится более полусотни блокнотов с записями, что он вел с военных времен.

Важным было и обсуждение с таким наставником деталей задачи, решением которой предстояло заняться молодому исследователю. Вот как об этом вспоминал Фейнман: *Когда ты даешь такому человеку, как Уилер, задачу, он сразу видит ее целиком. Это мне пришлось проводить расчеты, а Уилер просто все увидел**. Его роль в своей работе позднее Фейнман неоднократно отмечал в нобелевском докладе в 1965 г. [3].

В такие моменты ученики Уилера ощущали на себе всю глубину его мышления. По словам Торна, у него была поразительная способность догадываться о причинах явлений, опираясь на физическую интуицию. Осознание ее мощи и эффективности сильно на меня повлияло. Уилер сделал много больших открытий с помощью интуиции, хотя... — как отмечает Торн, — их следовало про- верить с помощью математики [14, с.320–321].

Образной подачей своих идей Джон вдохновлял молодых, полагая, что каждый из них способен и готов к самостоятельному развитию вопросов общей темы. Поэтому каждому он предлагал для исследования небольшую проблему, решение которой могло бы привести к пониманию того же схлопывания звезд, черных дыр и возможного объединения квантовой механики и общей теории относительности.

Уилер помогал признанию своих учеников как ученых. Созданная в 1957 г. Эвереттом многомировая интерпретация квантовой механики (которая предполагает существование в некотором смысле «параллельных вселенных») не получала должного отклика от ученых более десяти лет. Уилер, поддерживая эту теорию, содействовал встрече ученика с Бором, но на того интерпретация Эверетта не произвела впечатления. Хотя со временем Джон перестал ее поддерживать, тем не менее, сегодня она активно обсуждается многими учеными.

Р.И.Чоа написал под руководством Дж.Уилера курсовую, а затем и дипломную работу (она была посвящена квантованию общей теории относительности). Он отметил: *Уилер учил меня, что наука больше чем наполовину состоит из того, чтобы задать правильный вопрос, а меньшую половину посвящают получению правильного ответа, хотя это и не всегда так!* [10, с.215].

Ученики испытывали к своему наставнику самые теплые чувства, о чем свидетельствует признание Тегмарка: *Я привык делить физиков на титанов и простых смертных... Для меня Уилер был «последним титаном»... Он стал одним из моих супергероев благодаря своему пристрастию*

к безумным идеям... Я показал ему самую безумную свою статью об идее математической Вселенной, и она ему понравилась [15, с.300–301].

Одновременно Джон с коллегами и учениками создавал учебники для начинающих («Предвидение Эйнштейна» и «Физика пространства-времени») и для аспирантов («Черные дыры, гравитационные волны и космология»), а также книгу для ученых («Гравитация, нейтрино и Вселенная») и монографию для студентов и физиков-специалистов («Гравитация»). Все они были переведены на русский язык и до сих пор пользуются спросом.

Особую ценность представляют собой три тома «Гравитации» [16], подготовленной им совместно с Мизнером и Торном. «Гравитация» и сегодня не только служит учебником для студентов, но и задает нужный уровень понимания гравитации как явления природы у самих исследователей, определяя их дальнейшие победы в разрешении фундаментальных проблем теории квантовой гравитации и космологии.

Гражданин, ученый и человек

В жизни Джон был консерватором, свято верящим в американское общество, его образ жизни и обязательность его защиты. Подобно своим российским коллегам по космологии Я.Б.Зельдовичу, Л.Д.Ландау и А.Д.Сахарову, Дж.Уилер занимался созданием атомной бомбы, работая над нужными для получения плутония реакторами.

В 1951–1953 гг. Уилер был директором секретного проекта «Маттерхорн», организованного с целью создать реактор стеллаторного типа и получить управляемую термоядерную реакцию. С 1952 г., будучи членом Национальной академии наук США, он возглавлял группу по разработке первых водородных бомб, осуждая поведение Оппенгеймера, выступившего против их создания.

Во времена холодной войны и балансирования на грани возможной термоядерной катастрофы Уилер, продолжая заниматься созданием водородного оружия, после запуска в 1957 г. первого спутника в СССР выступил с инициативой организации мозговых штурмов ученых, нацеленных на успешное решение наиболее актуальных задач в интересах Министерства обороны и американских спецслужб.

Но если в политике Джон отличался консерватизмом, то в науке, в зависимости от решаемой проблемы, он, по определению Ф.Дж.Дайсона, проявлял себя как прозаик, стоящий на твердой почве, или как поэт, который задает вызывающие вопросы и подвергает все сомнению [10, с.XVI]. На этот счет Уилер в дневниках изложил выводы и соображения о будущей физике и дальнейших путях ее развития.

В одном из своих писем он подчеркнул: *Вот уже двадцать лет я занимаюсь физикой гравита-*

* Фейнман Р. Вы, конечно, шутите, мистер Фейнман! М., 2008. С.100.



Физики, собравшиеся в Копенгагене в июле 1963 г. после смерти Н.Бора. Дж.Уиллер стоит в центре в верхнем ряду.

Фото Ф.Хунда

ции и теорией относительности. В результате я пришел к выводу, что тайна мироздания кроется глубже, в квантовом принципе; что квантовый принцип связан на каком-то фундаментальном уровне с логикой и исчислением предложений... строение Вселенной связано с нашим собственным существованием... [14, с.395–396].

В работе международных конференций по гравитации Уилер участвовал постоянно. Начавшись в 1957 г. в Чапел-Хилле, конференции затем проводились в Руайомоне близ Парижа (1959), в Варшаве (1962), Лондоне (1965), Тбилиси (1968), Копенгагене (1971), Тель-Авиве (1974) и т.д. На них Уилер с учениками выступал с размышлениями о свойствах гравитации и ее роли в существовании Вселенной.

Джон был критически настроен к СССР и его власти, но признавал важный вклад Л.Д.Ландау, В.Л.Гинзбурга, А.Д.Сахарова, Я.Б.Зельдовича, И.Д.Новикова, Е.М.Лифшица, И.М.Халатникова в науку о гравитации и был знаком с большинством из них. Авторы книги «Гравитация» отметили, что очень многим обязаны нашим советским коллегам, которые помогли глубже проникнуть в целый ряд проблем... [16, с.18].

В СССР конференции по гравитации начали проводить с 1961 г. Ранее работали школы-семинары М.А.Маркова (с 1978 г.) и семинар Д.Д.Иваненко при МГУ (с 1960 г.). Из зарубежных ученых их посещали Дж.Уилер, Ч.У.Мизнер, К.С.Торн, Дж.Вебер и другие. Уилер переписывался с Иваненко, а в его кабинете мелом написал на доске: *Не может быть теории элементарных частиц, имеющей дело только с элементарными частицами. Ученик Н.Бора* [17, с.123].

В 1960–1970-х годах в СССР и США прошло 10 симпозиумов по теоретической физике, в которых участвовал и Джон. Близко узнав его, академик Халатников писал, что он *личность яркая,*

сыгравшая значительную роль в современной теоретической физике. <...> Он человек с необычайным воображением, всегда занимал очень высокое положение в научном сообществе, был советником президента США*.

Известный российский специалист по классической и квантовой гравитации Ю.С.Владимиров, знавший работы Уилера и нередко общавшийся с ним, отметил: *По нашему мнению, в последней трети XX века Уилера следует считать физиком номер один в области фундаментальной теоретической физики* [18, с.117].

* * *

Имя Уилера вписали в историю науки XX в. не только сделанные им открытия, предложенные удачные термины и взращенные талантливые ученики, но и, по мнению новых поколений исследователей, его уникальная способность ставить вопросы, в поиске ответов на которые физическая наука может изменить фундаментальные представления об устройстве природы.

В 1966 г. Уилер был избран президентом Американского физического общества, а в 1976 г. его пригласили на должность директора Центра теоретической физики Техасского университета в Остине. Он был награжден медалями А.Эйнштейна (1965), Э.Ферми (1968), Б.Франклина (1969), Н.Бора (1982), Х.Эрстеда (1983), О.Клейна (1992) и другими наградами.

19 апреля 1986 г., перед тревожным ожиданием операции на сердце, по дороге в больницу Уилер написал уже определенно: *В основе физики, пространства-времени, самого существования лежит нечто информационно-теоретического характера. Этой короткой фразой я бы ответил*

* Халатников И.М. Дау, Кентавр и другие (Top nonsecret). М., 2008. С.141.

на просьбу о последнем слове, прежде чем я оставлю эту Землю [14, с.417]. К счастью, операция прошла удачно и он прожил еще 20 с лишним лет.

В марте 2002 г. в Принстоне прошел симпозиум «Наука и предельная реальность» посвященный 90-летию юбилею Уилера — выдающегося физика с пророческим даром, поэта научных поисков, пропагандиста союза квантовой механики и теории гравитации как средства разгадки тайн Все-

ленной. На симпозиуме обсуждалось, как воплотились в науку его открытия и предсказания. Последние годы жизни Джон с женой Жанетт (в браке они прожили 72 года!) провел в доме престарелых в г.Хайтстауне, недалеко от Принстона. Почерк в его дневнике становился все неразборчивее, записей — все меньше, а в январе 2008 г. они прекратились и вовсе. Умер ученый от пневмонии 13 апреля 2008 г. в возрасте 96 лет. ■

Литература / References

1. Уилер Дж. Механизм деления ядер. Успехи физических наук. 1968; 96(4): 708–715. [Wheeler J. Mechanism of nuclea division. Physics-Uspekhi (Advances in Physical Sciences). 1968; 96(4): 708–715. (In Russ.).]
2. Бор Н., Уилер Дж.А. Механизм деления ядер. Бор Н. Избранные научные труды. Т.2. М., 1971; 299–349. [Bohr N., Wheeler J.A. Mechanism of nuclea division. Bohr N. Selected Scientific Publications. V.2. Moscow, 1971; 299–349. (In Russ.).]
3. Фейнман Р. Развитие пространственно-временной трактовки квантовой электродинамики. Успехи физических наук. 1967; 91(1): 29–48. [Feynman R. Development of existential interpretation of quantum electrodynamics. Physics-Uspekhi (Advances in Physical Sciences). 1967; 91(1): 29–48. (In Russ.).]
4. Феррейра П. Идеальная теория. Битва за общую теорию относительности. СПб., 2015. [Ferreira P. The Perfect Theory. A Centure of Geniuses and the Battle over General Relativity. Saint-Petersburg, 2015. (In Russ.).]
5. Уилер Дж. Предвидение Эйнштейна. М., 1970. [Wheeler J. Einstein's Foresight. Moscow, 1970. (In Russ.).]
6. Эйнштейн А. Собрание научных трудов. Т.1. М., 1965. [Einstein A. Collection of scientific publications. V.1. Moscow, 1965. (In Russ.).]
7. Хокинг С. Моя краткая история. СПб., 2014. [Hawking S. My Brief History. Saint-Petersburg, 2014. (In Russ.).]
8. Альберт Эйнштейн и теория гравитации. Сборник статей. М., 1979. [Albert Einstein and theory of Gravitation. Collection of articles. Moscow, 1979. (In Russ.).]
9. Торн К.С. Черные дыры и складки времени: дерзкое наследие Эйнштейна. М., 2009. [Thorne K.S. Black Holes and Time Warps: Einstein's Outrageous Legacy. Moscow, 2009. (In Russ.).]
10. Наука и предельная реальность: квантовая теория, космология и сложность. М.; Ижевск, 2013. [Science and ultimate reality: Quantum Theory, Cosmology and Complexity. Moscow; Izhevsk, 2013. (In Russ.).]
11. Уилер Дж. Квант и Вселенная. Астрофизика, кванты и теория относительности. М., 1982; 535–558. [Wheeler J. Quantum and Universe. Astrophysics, quanta and theory of relativity. Moscow, 1982; 535–558. (In Russ.).]
12. Wheeler J.A. Geons, Black Holes and Quantum Foam: A Life in Physics. N.Y., 1998.
13. Вильчек Ф. Тонкая физика. Масса, эфир и объединение всемирных сил. СПб., 2018. [Wilczek F. The Lightness of Being: Mass, Ether, and the Unification of Forces. Saint-Petersburg, 2018. (In Russ.).]
14. Гейфтер А. На лужайке Эйнштейна. Что такое ничто, и где начинается все. М., 2016. [Gefter A. Trespassing on Einstein's Lawn: A Father, the Mearning of Nothing, and the Beginning of Everything. Moscow, 2016. (In Russ.).]
15. Тегмарк М. Наша математическая Вселенная. В поисках фундаментальной природы реальности. М., 2017. [Tegmark M. Our Mathematical Universe. My Guest for the Ultimate Nature of Reality. Moscow, 2017. (In Russ.).]
16. Мизнер Ч., Торн К., Уилер Дж. Гравитация. В 3 т. М., 1977. [Misner C., Thorne K.S., Wheeler J. Gravitation. V.1–3. Moscow, 1977. (In Russ.).]
17. Владимиров Ю.С. Между физикой и метафизикой. Кн.2: По пути Клиффорда—Эйнштейна. М., 2011. [Vladimirov Yu.S. Between Physics and Metaphysics. Book 2: Towards Klifford—Einstein. Moscow, 2011. (In Russ.).]
18. Владимиров Ю.С. Между физикой и метафизикой. Кн.3: Геометрическая парадигма: испытание временем. М., 2012. [Vladimirov Yu.S. Between Physics and Metaphysics. Book 3: Geometrical paradigm: test time. Moscow, 2012. (In Russ.).]

John Wheeler's Courageous Conservatism in Science

R.N.Shcherbakov
(Tallinn, Estonia)

The eminent American physicist John Archibald Wheeler (1911–2008) is famed by his works in Quantum mechanics and Nucleus physics, General Theory of Relativity and Quantum Gravitation, Astrophysics and Cosmology. He was known so by prediction of fundamental laws evolution of the Universe. He created a big Physics American Scientific school.

Keywords: Bohr—Wheeler theory, Geometrodynamics and Quantum Gravitation, Information and physic laws, Wheeler Scientific school and family of Gravitational men.