

Памяти Леонида Петровича Грищука

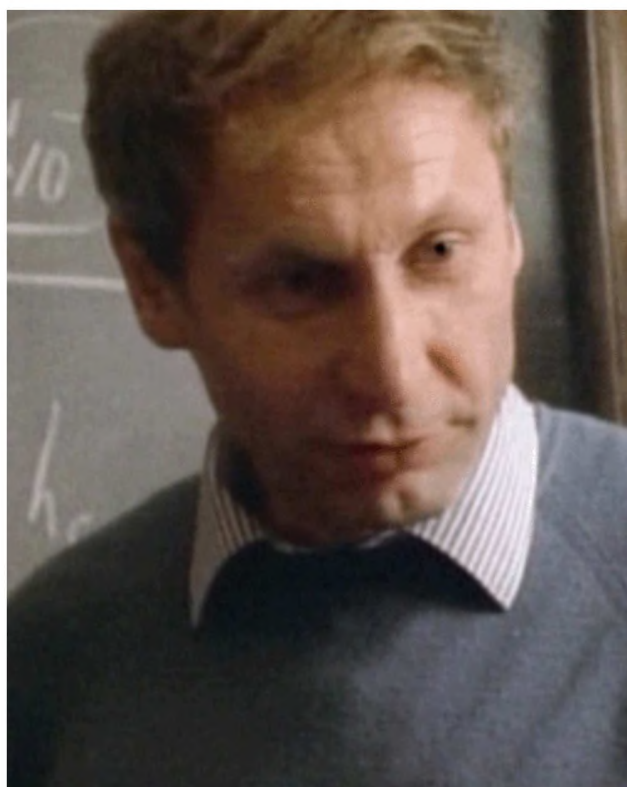
PACS number: 01.60.+q

13 сентября 2012 г. после тяжёлой непродолжительной болезни скончался Л.П. Грищук — специалист по теории гравитации и космолог с мировым именем, профессор Государственного института им. П.К. Штернберга МГУ (ГАИШ), профессор Университета г. Кардифф (Великобритания), член редколлегии журнала УФН.

Леонид Петрович Грищук родился 16 августа 1941 г. в Житомире (Украина) и был младшим в большой семье (четыре старших брата и сестра). Окончив с золотой медалью среднюю школу, увлекаясь математикой и физикой, Грищук в 1958 г. поступил на физический факультет Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, сначала на отделение физики, а с середины 1-го курса перешёл на отделение астрономии, верность которой он сохранил до конца своих дней. Время учёбы на физфаке (1958–1964) совпало с периодом "оттепели" в СССР, что отразилось и на процессе обучения, и на общественной активности студенчества. За все шесть лет учёбы Л.П. Грищук проявлял себя очень способным и активным студентом, успевая, кроме обязательных курсов, посещать лекции и семинары по физике и математике на других кафедрах и факультетах. Успевал он заниматься и спортом (был вратарём сборных команд по футболу факультета и МГУ), и общественной работой (по комсомольской и по профсоюзной линиям). Неоднократно выезжал в разные районы страны в составе строительных студенческих отрядов (ССО) (в том числе и с первым ССО на целину летом 1959 г.). Награждён многими грамотами и медалью "За освоение целинных земель". Среди однокурсников Леонид пользовался большим уважением и непререкаемым авторитетом.

Будучи хорошим математиком, Л.П. Грищук увлёкся космологическими проблемами и курсовую работу писал у известного космолога Абрама Леонидовича Зельманова, который ясно понимал, что имеющиеся космологические модели недостаточно точны для описания реальной Вселенной, так как не учитывают отклонений от однородного и изотропного распределения космологического вещества.

После окончания учёбы Л.П. Грищук поступил в аспирантуру к А.Л. Зельманову и в 1967 г. успешно защитил диссертацию "К проблеме сингулярностей в решениях уравнений Эйнштейна". Этому предшествовала бурная его полемика с известными физиками Е.М. Лифшицем и И.М. Халатниковым (имевшими важные работы по этой тематике) о характере и физической природе сингулярностей, получающихся при решении уравнений ОТО. Леонид Петрович рассматривал решения этих уравнений для пылевидной материи (с на-



Леонид Петрович Грищук
(16.08.1941 – 13.09.2012)

чальными условиями, включающими вращение), которые приводили к физической особенности (сингулярности), характеризуемой плотностью вещества и кривизной, стремящимися к бесконечности. В диссертации также были даны доказательства, что такая особенность на самом деле представляет собой каустику на времени-подобной гиперповерхности (так называемую "голую" сингулярность). На такой каустике каждый элемент объёма увеличивает свою плотность в процессе уплощения своей формы и превращения в блиноподобную конфигурацию, о чём несколько позже для нерелятивистского случая писал Я.Б. Зельдович. Доказанная в диссертации Грищука теорема являлась первым конструктивным опровержением утверждения, что решения уравнений ОТО (в вакууме или при наличии материи) не могут иметь физической сингулярности. Из этой теоремы можно было сделать вывод, что блиноподобные образования с неизбежностью могут определять картину

движущейся материи в пострекомбинационную эпоху эволюции Вселенной. Этот вывод оказался очень важным для понимания особенностей формирования крупномасштабной структуры Вселенной и, как следствие, формирования галактик. В диссертации была развита теория космологических моделей, однородных по так называемому критерию Зельманова (иногда называемому в литературе критерием Зельманова – Грищука).

После защиты диссертации Л.П. Грищук был приглашён в Варшавский университет. Результатом этой поездки стало исследование совместно с известным польским космологом М. Демьянским влияния вращения на динамику однородной анизотропной Вселенной.

В последующие годы Леонид Петрович в своих работах обратился к проблемам гравитационного излучения, источников гравитационных волн и их взаимодействия с веществом, полями и квантовыми системами.

В начале 1970-х годов почти все были уверены, что уравнения, описывающие все фундаментальные физические поля, конформно инвариантны, из чего следовало, что быстро расширяющаяся Вселенная никаких частиц рождала не могла. Грищук отнёсся к этому утверждению скептически. Из эйнштейновских полевых уравнений он вывел уравнение, описывающее гравитационные волны в ранней Вселенной, и показал, что это уравнение не конформно инвариантно. На основании этого он сделал предсказание, что Большой взрыв должен породить богатый спектр реликтовых гравитонов. Это имело два важных последствия: во-первых, это инициировало интенсивный наблюдательный поиск свидетельств реликтового гравитационного излучения (ставший поиском "священного Грааля" для современных космологов). Во-вторых, был преодолён ошибочный догматизм, господствовавший среди космологов в начале 1970-х годов, что заставило их осознать, что, наряду с гравитонами, и другие частицы могли бы рождаться в ранней Вселенной в ходе её быстрого (как теперь говорят — "инфляционного") расширения.

На другие исследования Л.П. Грищука в области гравитационного излучения и космологии оказали решающее влияние взгляды Я.Б. Зельдовича, его сотрудников и аспирантов, зарубежных друзей-учёных (в первую очередь К. Торна из Калтеха (США)) и сотрудников лаборатории В.Б. Брагинского (Физический факультет МГУ). Вместе с учениками Л.П. Грищук обосновал фундаментальную концепцию, согласно которой квантовомеханическая генерация космологических возмущений в ранней Вселенной может быть объяснена с помощью "сжатых" квантовых состояний, приводящих к феномену стоячих волн и модулированию отдельных пиков в спектре мощности флуктуаций реликтового микроволнового излучения (так называемых сахаровских осцилляций). К этой концепции Грищук обращался впоследствии неоднократно, разойдясь во мнениях на природу сахаровских осцилляций с большинством современных космологов; в мае 2011 г. Л.П. Грищук сделал большой приглашённый доклад на эту тему в Физическом институте им. П.Н. Лебедева РАН (ФИАН) на конференции, посвящённой 90-летию А.Д. Сахарова (см. *УФН* 182 222 (2012)). Работы Грищука (совместно с В.Б. Брагинским, А.Г. Дорошкевичем, Я.Б. Зельдовичем, И.Д. Новиковым и М.В. Сажиним) 1970-х годов по теории взаимодействия гравитационных волн с электромагнитными были востребованы при проектировании детекторов типа ла-

зерного интерферометра (LIGO в США, VIRGO в Европе) и микроволновых ячеек. В 1980-е годы Л.П. Грищуком вместе с соавторами было обращено внимание на новые физические эффекты, обусловленные гравитационными волнами: кинематический резонанс, потоки дрейфовых частиц, память положения (с В.Б. Брагинским) и скорости (с А.Г. Полнарёвым) свободных частиц после прохождения гравитационной волны. По этой тематике Леонид Петрович в 1977 г. в ГАИШе успешно защитил докторскую диссертацию "Гравитационные волны, их физические свойства и астрофизические проявления".

В последующие годы Л.П. Грищуком (совместно с М.В. Сажиним) было показано, что для случая "сжатого" квантового состояния за счёт подавления тепловых шумов можно заметно усилить чувствительность детекторов гравитационных волн типа резонансных цилиндров Вебера. А в дальнейшем для детекторов такого типа была развита и более общая квантовая теория. В то же время вместе со своим аспирантом С.М. Копейкиным Л.П. Грищук получил релятивистские уравнения движения для компактных тел (нейтронные звезды, чёрные дыры) с учётом реакции отдачи при излучении ими гравитационных волн.

Леонид Петрович плодотворно работал с Я.Б. Зельдовичем. Их особенно тесное сотрудничество началось после того, как по инициативе Грищука с 1982 г. Зельдович стал заведующим Отделом релятивистской астрофизики в ГАИШе. Грищуком, совместно с Зельдовичем, было показано, что данные о величине квадрупольной компоненты во флуктуациях температуры космологического микроволнового фонового излучения накладывают жёсткие ограничения на величину неоднородности и анизотропии Вселенной на шкалах длин, в сотни раз больших сегодняшнего хаббловского размера (эффект Грищука – Зельдовича). Л.П. Грищуком совместно с В.А. Белинским, Я.Б. Зельдовичем и И.М. Халатниковым было получено доказательство того, что "инфляционные траектории" для динамической системы, включающей скалярные и гравитационные поля, являются аттракторами для фазовых кривых этой системы.

Работа Л.П. Грищука с Я.Б. Зельдовичем относительно возможности возникновения Вселенной "из ничего" в какой-то мере предвосхитила инфляционные модели Вселенной. Хотя впоследствии Л.П. Грищук к этим моделям относился скептически. Совместно с Я.Б. Зельдовичем Л.П. Грищуком были написаны два обзора "Гравитация" и "Космология" для энциклопедии *Физика космоса* (М.: Советская энциклопедия, 1976), а также две методические заметки для *УФН* (1986 г. и 1988 г.).

Исследуя космологические проблемы, Леонид Петрович, естественно, в большей степени использовал общую теорию относительности (ОТО) как самую признанную теорию гравитации. Но он не относился к ней, как к догме, застывшей раз и навсегда. Он размышлял о фундаментальных основах гравитационной теории, о её месте среди других физических теорий. Результатом этого стал ряд его работ по теории гравитации. Например, в 1990 г. совместно с Б. Берготти был проанализирован сильный принцип эквивалентности и сделан вывод, что в ОТО этот принцип при определённых ограничениях действует на параметры системы, в отличие от других метрических теорий. Большое место в исследованиях Л.П. Грищука занимает так называемая полевая формулировка ОТО на произвольном искрив-

лённом фоне, разработанная совместно с А.Н. Петровым и А.Д. Поповой. Годы её создания относятся к первой половине 1980-х годов. Смысл в том, что в таком представлении ОТО все поля, включая гравитационное, распространяются на фоне заданного пространства-времени. Обе формулировки — и геометрическая, и полевая — это два представления одной и той же теории, дающие одинаковый результат, а предпочтение отдаётся той или иной формулировке в зависимости от характера решаемой проблемы. Как показало дальнейшее развитие теории, метод полевого подхода оказался весьма продуктивным в построении сохраняющихся величин в любой метрической и многомерной гравитации.

В начале 2000-х годов Леонид Петрович в соавторстве со своим аспирантом С.В. Бабаком предложил вариант массивной теории гравитации (модификация ОТО), где массой, в отличие от уже известных аналогичных теорий, обладают два типа гравитонов: обычные, со спином 2, и скалярные, со спином 0. Основой этой теории стала полевая формулировка ОТО на плоском фоне. Авторы показали, что в их теории при предположении об очень малой массе гравитонов, $m_0 = 10^{-65}$ г, вместо обычных классических чёрных дыр с горизонтами событий имеются такие объекты, как "голые сингулярности"; обычный режим расширения Вселенной заменяется осциллирующим.

В период 1990–1991 гг. Л.П. Грищук работал в рамках соглашения по научному обмену в Колорадском университете, г. Боулдер (США), а с 1992–1993 гг. — в Университете Вашингтона, г. Сент-Луис (США). При этом он активно взаимодействовал с группой гравитационистов из Калтеха под руководством профессора Кипа Торна, которая занималась проектированием четырёхкилометровой лазерно-интерферометрической гравитационно-волновой обсерватории (LIGO). Через десять лет Грищук указал на ошибку, которую совершали в LIGO при анализе данных, — ошибку, которая привела бы к неправильной интерпретации наблюдательных данных на высокочастотном конце спектра сигнала LIGO. Леонида Петровича с Кипом Торном связывали не только общие научные интересы, но и искренние, глубокие дружеские отношения ещё с конца 1960-х годов.

Начиная с 1995 г. Л.П. Грищук стал профессором в Университете г. Кардифф (Великобритания), где проработал до своего ухода на пенсию в 2009 г. и продолжал вести научную работу вплоть до своей преждевременной кончины. Оставался Леонид Петрович и профессором в МГУ, где у него были совместные гранты и соавторы. В Москву он приезжал два раза в год и активно обсуждал современные проблемы астрофизики с коллегами.

Он интересовался новыми наблюдательными данными относительно двойных чёрных дыр в ядрах галактик, считая их перспективными источниками гравитационных волн. Думал над проблемой гравитационных линз, особенно для случаев, когда такими линзами являются массивные двойные чёрные дыры в ядрах галактик. Живо реагировал на обнаружение очень далеких галактик и квазаров, обдумывал возможные пути их образования за короткое космологическое время (менее $0,5 \times 10^9$ лет). Подробно выяснял степень достоверности работ, в которых сообщалось об обнаружении неодно-

родностей в распределении галактик с размерами > 300 Мпк, и наблюдений, говорящих в пользу возможного существования глобальной анизотропии в масштабах Вселенной. Его эти результаты не удивляли, так как он считал, что за них ответственны гравитационные волны, возникшие на ранних этапах формирования Вселенной и постепенно "выходящие" из-под горизонта при её расширении. В 2006 г. Леонидом Петровичем совместно с А.Г. Полнарёвым и Д. Баскараном был разработан новый метод детектирования космологических гравитационных волн по корреляции анизотропии и E -поляризации в фоновом реликтовом излучении.

Остаётся только искренне сожалеть, что Л.П. Грищук не дождался ожидаемого обнаружения гравитационных волн на интерферометре LIGO, в неизбежность чего они вместе с К. Торном непоколебимо верили. Не дождал Леонид Петрович и до опубликования результатов со спутника "PLANCK" относительно вида спектра возмущений температуры и поляризации микроволнового излучения, которые, по убеждению Л.П. Грищука, будут расходиться с предсказаниями, не учитывающими значительного вклада космологических гравитационных волн (эти результаты будут опубликованы только в 2013 г.).

Остались неосуществлёнными и другие задумки Леонида Петровича. Например, он собирался написать книгу о проблеме обнаружения гравитационных волн и поиска их наиболее вероятных источников. Осталась незаконченной и его статья относительно гравитационно-волновой памяти в космологическом контексте. И ему так и не удалось развить идею, что за наблюдаемое ускоренное расширение Вселенной ответственны гравитационные возмущения на длинах волн, много больших хаббловского масштаба. Но, по "гамбургскому счёту", Л.П. Грищук свои взгляды и понимание роли гравитационных волн в космологии и своё представление о возможных наблюдательных следствиях выразил в своих многочисленных работах и выступлениях.

Леонид Петрович был страстным человеком. Он любил жизнь, он любил физику, он любил свою семью и друзей. В физике он никогда не следовал моде. Он исследовал вопросы для себя, своим собственным образом и часто видел глубже, чем многие. Светлая память о Леониде Петровиче Грищук навсегда останется в сердцах его друзей и коллег.

В.В. Акимов, Ф.И. Атауллаханов, С.В. Бабак, А.В. Баранов, Д. Баскаран, А.И. Беляев, В.Б. Брагинский, М.Дж. Дисней, Г.В. Домогацкий, А.Г. Дорошкевич, Ю.Н. Ефремов, А.В. Засов, П.Б. Иванов, В.П. Кандидов, Н.С. Кардашев, Б.В. Комберг, Д.А. Компанец, С.М. Копейкин, В.Г. Курт, М.Г. Ларионов, В.М. Литунов, С.Ф. Литвиненко, В.Н. Лукаш, М. МакКаллум, Л.А. Малов, И.Д. Новиков, А.Н. Петров, В.Д. Письменный, Р.Ф. Полищук, А.Г. Полнарёв, К.А. Постнов, Л.И. Приходько, М.Е. Прохоров, В.А. Рубаков, В.Н. Руденко, А.Р. Рустамов, М.В. Сажин, П. Саттон, Б.С. Сатьяпракаш, К.С. Торн, К. Уилл, С. Фэрхерст, М. Ханнам, А.М. Черпащук, А.Д. Чернин, Н.И. Шакура, Е.К. Шеффер, Б.Е. Штерн, Б. Шутц, В.Е. Якимов