

## PERSONALIA

## Александр Викторович Гуревич

(к 80-летию со дня рождения)

PACS number: 01.60. + q

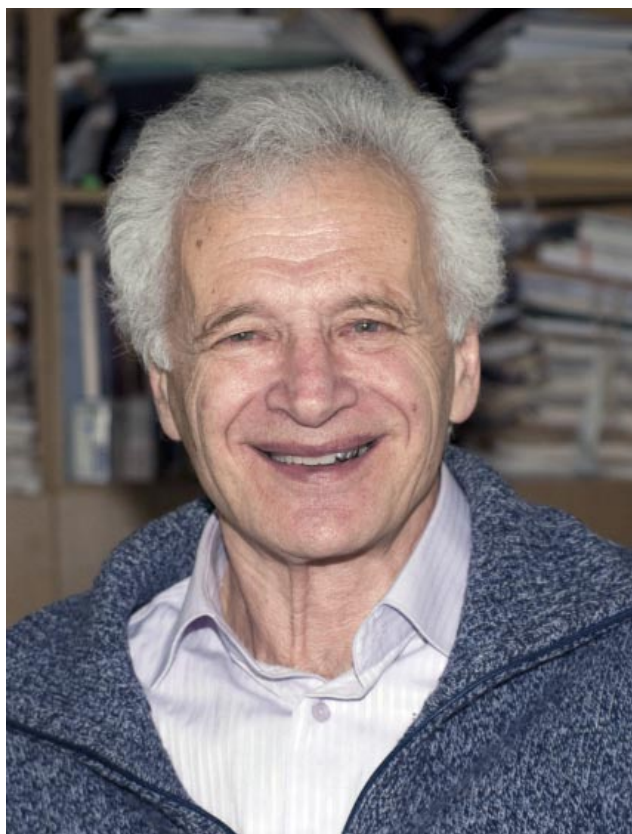
DOI: 10.3367/UFNr.0180.2010091.1005

19 сентября 2010 г. исполняется семьдесят лет известному физико-теоретику, академику Российской академии наук Александру Викторовичу Гуревичу. Его яркий талант проявился в разнообразных областях современной физики, таких как радиофизика, астрофизика, кинетическая теория плазмы и математическая физика.

Краткий обзор научной деятельности А.В. Гуревича начнём с его работ по теории убегающих электронов. Уже в первых экспериментах 1950-х годов по удержанию плазмы наблюдался значительный избыток электронов с большими энергиями, по сравнению с тем количеством, которое должно было бы наблюдаться при их равновесном распределении по скоростям. Эти электроны, унося значительную долю энергии, препятствовали эффективному нагреву плазмы. Явление требовало теоретического истолкования. А.В. Гуревич рассмотрел задачу о движении группы быстрых электронов под действием постоянного электрического поля с учётом их столкновений с тепловыми электронами и ионами плазмы. Особенностью этих столкновений является падение сечений рассеяния, а следовательно, и силы торможения с ростом энергии частиц. А.В. Гуревич построил последовательную кинетическую теорию эффекта, количественно описав поток быстрых частиц из области тепловых энергий в область высоких энергий. Неожиданным оказалось то, что даже в очень слабом электрическом поле в плазме возникает неравновесное состояние с немаксвелловской функцией распределения. Именно этим плазма принципиально отличается от газа.

Эти работы А.В. Гуревича стали важным шагом в развитии кинетической теории. В отличие от традиционного, восходящего к С. Чепмену и Д. Энскогу, применения метода кинетического уравнения для вывода гидродинамических уравнений и вычисления коэффициентов переноса в них, были найдены существенно негидродинамические решения. При этом кинетическая теория выступает не вспомогательным инструментом гидродинамики, а непосредственным инструментом описания сущности физического явления. В частности, кинетический подход лежит в основе пионерской работы А.В. Гуревича по теории обтекания тел, движущихся в ионосферной плазме, выполненной в 1957 г. к запуску первого спутника. Эта теория, развитая в совместных работах с Я.Л. Альпертом и Л.П. Питаевским, получила в дальнейшем широкое применение.

В 1992 году А.В. Гуревич, основываясь на представлении об убегающих электронах, предложил новый механизм пробоя газов. Идея состояла в том, что в электрическом поле затравочный "убегающий" электрон ионизует нейтральный газ за счёт соударений, рождая при этом, наряду с большим количеством электронов малых энергий, некоторое количество электронов с энергией, достаточной для преодоления ионизационных потерь. Эти вновь рождённые быстрые электроны в свою очередь будут ускоряться электрическим полем и ионизовать газ. Тем самым будет нарастать лавина быстрых электронов. Кинетическая теория этого явления, построенная совместно с К.П. Зыбиным, Г.М. Милихом и Р. Расселом-Дюпре, показала, что для этого явления пороговое электрическое поле в десять раз меньше, чем при обычном пробое, зато пространственный масштаб нарастания лавины при атмосферном давлении составляет около сотни метров. Эти работы стали широко популярны у специалистов по атмосферному электричеству. Дело в том, что в рамках представления о пробое на убегающих электронах возникает понимание таких явлений как наблюдаемые всплески интенсивного рентгеновского излучения во время гроз, а также приходящие со стороны Земли мощные вспышки гамма-излучения (TGF), регистрируемые на искусственных спутниках. Особенно важно, что



Александр Викторович Гуревич

измерения электрических полей в грозных облаках всегда давали значения полей, недостаточные для пробоя с точки зрения традиционного механизма. А.В. Гуревичем было высказано предположение, что затравочными частицами для пробоя на убегающих электронах могли бы быть электроны вторичных космических лучей, разработана обширная программа одновременных наблюдений прохождения широких атмосферных ливней космических лучей и характерных для грозных разрядов всплесков гамма-излучения, радиоизлучения и потоков быстрых электронов. Исследования, проводимые по инициативе А.В. Гуревича на Тянь-Шаньской высокогорной научной станции ФИАН (ТШВНС), выявили корреляцию между этими явлениями, предсказанную теорией пробоя на убегающих электронах.

Особое место в творчестве А.В. Гуревича занимают проблемы радиофизики и физики нелинейных явлений. Начиная с работы по нелинейным волнам в плазме 1960 г., совместной с В.Л. Гинзбургом, и по сей день он увлечён разнообразием имеющихся в этой области проблем и возможностей. Работы А.В. Гуревича во многом сформировали два направления нелинейной физики: теорию процессов, происходящих в ионосфере под воздействием мощных радиоволн, и теорию бездиссипативных ударных волн.

Для А.В. Гуревича исследования ионосферной и космической плазмы важны не только потому, что плазма — это основное состояние вещества вне атмосферы Земли, но и потому, что именно там, по его мнению, плазма проявляет свои свойства в более чистом виде, чем в наземных установках, что открывает путь к развитию ясных теоретических представлений. В обширном цикле работ была построена теория нелинейной модификации ионосферы при воздействии на неё мощных радиоволн. Было предсказано, что такие волны должны вызывать в ионосферной плазме резонансную неустойчивость, приводящую к нелинейному поглощению радиоволны, к нагреву электронов и к искусственному свечению атмосферы. Нелинейность приводит к разбеганию области нагрева на узкие вытянутые неоднородности с пониженной плотностью плазмы. Возникает нелинейная самофокусировка падающей волны на генерируемых ею мелкомасштабных неоднородностях. В возмущённой радиоволновой зоне генерируются разнообразные плазменные волны, что приводит к развитию нелинейной плазменной турбулентности. Она проявляется в ускорении электронов, в возникновении искусственного радиоизлучения и устойчивых плазменных структур.

Под стимулирующим воздействием идей А.В. Гуревича в СССР, США и на севере Европы были созданы специальные радиостенды для воздействия на ионосферу и комплексы разнообразной аппаратуры для её диагностики. Работы по нелинейным явлениям в ионосфере принесли А.В. Гуревичу международную известность. В 1990 г. он был удостоен премии им. Эпплтона Королевского общества и Международного научного радиосоюза.

В 1970-е годы А.В. Гуревич и Л.П. Питаевский поставили и решили задачу о структуре бездиссипативной ударной волны в диспергирующей среде. Как известно, возмущение бездиссипативной среды в отсутствие дисперсии через конечное время становится сингулярным. Было показано, что при наличии дисперсии вместо этого возникает расширяющаяся область осцилляций. Решение строилось путём усреднения уравнения Кортевега–де Вриза методом Уизема. Авторы продемонстрировали преимущество этого метода для построения многосолитонных решений по сравнению с методом обратной задачи рассеяния. Это обстоятельство привлекло внимание математиков и стало началом целого направления в исследовании точно интегрируемых уравнений.

В 1990-е годы А.В. Гуревичем с соавторами была поставлена и решена задача описания турбулентности в бездиссипативной среде с дисперсией. Было показано, что широкий класс детерминированно заданных начальных возмущений будет динамически эволюционировать в такой среде к хаотическому состоянию, статистические характеристики которого вычисляются по начальному возмущению. Этот новый вид возникновения хаоса из динамики является результатом многократного опрокидывания максимумов начальной волны, распространяющейся в безграничной нелинейной диспергирующей среде. Интерес А.В. Гуревича к проблеме турбулентности не ограничивается бездиссипативным случаем. Недавно им были инициированы работы по теории классической гидродинамической турбулентности, в которых совместно с К.П. Зыбиным, В.А. Сиротой и А.С. Ильиным удалось существенно продвинуться в понимании структуры развитой турбулентности.

В 1980-е годы А.В. Гуревичем, В.С. Бескиным и Я.Н. Истоминым была построена теория магнитосферы пульсаров и их радиоизлучения, которая и сейчас, спустя многие годы, остаётся одной из самых глубоких, последовательных и замкнутых теорий в физике радиопульсаров. Эта серия работ очень характерна для научного стиля А.В. Гуревича. Он любит конкретную физику, основанную на экспериментах и наблюдениях, но, будучи физиком-теоретиком, рассматривает её прежде всего как источник новых теоретических задач, а не как поле приложения ранее разработанных моделей. Отсюда настойчивое стремление к тому, что он называет "замкнутой постановкой задачи". В данном случае это означало не идти по пути построения феноменологической модели магнитосферы нейтронной звезды, с самого начала закладывая в неё наблюдательные данные о пульсаре, — пути всё ещё слишком популярному в астрофизических теориях. Стремиться надо, всегда подчёркивает А.В. Гуревич, к построению последовательной самосогласованной теоретической модели, исходящей из "физики дела". А уже затем наблюдаемые характеристики явления должны получаться как естественное следствие теории.

Авторам удалось построить замкнутую теорию физических явлений, протекающих в окрестности сильно намагниченных вращающихся нейтронных звёзд. Выяснилось, что главное в полученной картине — это пространственная структура токов, текущих в магнитосфере и замыкающихся по поверхности звезды. Например, именно

пондеромоторное действие поверхностных токов и приводит к замедлению вращения пульсара (что, как известно, и проявляется в наблюдаемом увеличении периода его вращения). Это утверждение сейчас кажется тривиальным, однако 25 лет назад принималось астрофизиками чуть ли не в штыки.

Далее, впервые была построена кинетическая теория рождения релятивистской электрон-позитронной плазмы вблизи магнитных полюсов нейтронной звезды. Наконец, была разработана теория генерации когерентного радиоизлучения пульсаров, основанная на анализе нелинейной стадии развития неустойчивости такой плазмы при её движении в искривлённом сильном магнитном поле звезды. Таким образом, впервые удалось пройти весь путь от последовательной физической теории магнитосферы нейтронной звезды, рождения частиц и генерации радиоизлучения к сравнению её количественных предсказаний и данных наблюдений, показавшему их хорошее согласие. По мере накопления новых наблюдательных данных значение этой теории возрастает.

Наконец, отметим серию работ А.В. Гуревича и К.П. Зыбина о нелинейной стадии гравитационной (джинсовской) неустойчивости бездиссипативного самогравитирующего холодного вещества и пространственной структуре его распределения. Указанными свойствами обладает тёмное вещество, которое, по современным представлениям, определяет наблюдаемую структуру галактик и их скоплений. Согласно кинетической теории, разработанной в 1988 г., процесс установления равновесия идёт через возникновение особенностей плотности. За особенностью развивается многопоточное течение, причём число потоков, как и число особенностей, со временем нарастает. Кроме того, оказалось, что в нелинейную стадию неустойчивости первыми входят окрестности тех точек, где возмущения плотности достигают критического значения. Универсальный характер любой дифференцируемой функции вблизи локального максимума и диктует универсальный характер возникающего в асимптотике размешанного кинетического состояния. Полученное аналитически равновесное распределение является сингулярным и хорошо описывается радиальной степенной функцией с показателем степени, близким к наблюдаемому в галактиках и их скоплениях. Таким образом, на конечной стадии развития неустойчивости образуется протяжённый самогравитирующий объект. Позднее, с развитием численных методов и повышением мощности компьютеров, подобное сингулярное распределение начали получать и в численных экспериментах.

Поскольку во Вселенной начальные флуктуации плотности имели разные масштабы, то по мере развития возмущений последовательно образовывалась иерархическая структура самогравитирующих объектов тёмного вещества. Дальнейшее развитие теории, выполненное совместно с М.И. Зельниковым, позволило описать эту структуру.

Сингулярный характер потенциала в центре гало тёмной материи является естественной причиной зарождения и дальнейшего роста чёрной дыры, для возникновения которой, однако, необходимо поглощение также и барийной материи. А.В. Гуревичем и его группой был предложен механизм роста центральной сверхмассивной чёрной дыры за счёт поглощения ею тёмной материи и звёзд. Вычисленный темп роста гигантских чёрных дыр согласуется с наблюдениями.

А.В. Гуревич относится к тем физикам-теоретикам, которые не ограничиваются развитием теории ради теории. Для него важно увидеть в идеях теории отражение реальных природных процессов. Реальность, однако, богаче и сложнее теории. Вычленив чистый физический эффект, например такой, не вызывающий с теоретической точки зрения сомнений процесс, как пробой на убегающих электронах, из огромного разнообразия случайных явлений, сопровождающих грозовые разряды, не так-то просто. Именно на этой задаче сосредоточены усилия А.В. Гуревича в последние годы. Кроме натуральных экспериментов на ТШВНС, им предложен лабораторный эксперимент по исследованию роли убегающих электронов в ионизационной волне, проводящийся в ФИАНе. Кроме того, А.В. Гуревич осуществляет научное руководство проектом запуска микроспутника "Чибиc" (ИКИ РАН, НИИЯФ МГУ, ФИАН) для исследований TGF. Мы желаем Александру Викторовичу здоровья и успехов в этих его начинаниях!

*В.С. Бескин, М.А. Васильев, А.В. Гапонов-Грехов,  
Л.М. Зелёный, К.П. Зыбин, Я.Н. Истомирин,  
Л.В. Келдыш, О.Н. Крохин, Г.А. Месяц,  
Л.П. Питаевский, М.О. Птицын, В.И. Ритус*