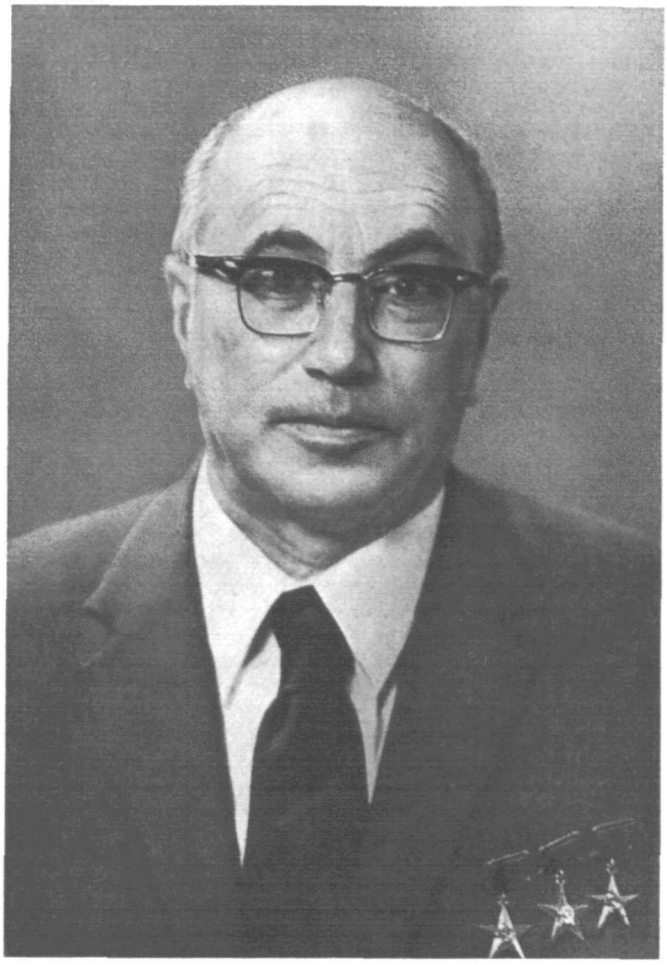

ЯКОВ БОРИСОВИЧ
ЗЕЛЬДОВИЧ

1974 г. Март *Том 112, вып. 3*

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

PERSONALIA

53(92)

ЯКОВ БОРИСОВИЧ ЗЕЛЬДОВИЧ

(К шестидесятилетию со дня рождения)

8 марта 1974 г. исполнилось 60 лет академику Якову Борисовичу Зельдовичу. С этим юбилеем связана еще одна дата. Сорок лет назад появилась первая теоретическая работа Якова Борисовича, посвященная теории адсорбции на неоднородной поверхности (послужившая началом новой области химической физики). А сегодня нет почти ни одной области физики и смежных с нею наук, в которую не был бы внесен вклад замечательными работами Якова Борисовича и его многочисленных учеников.

Широта научных интересов Я. Б. Зельдовича совершенно необъятна. Трудно вообразить, что это все делал и делает один человек. Недаром известный английский физик и математик С. Хоукинг после бесед с Я. Б. Зельдовичем шутливо написал: «Я теперь знаю, что, в отличие от Бурбаки, Вы являетесь реальным человеком, а не собирательным именем целой группы».

Яков Борисович начал свою научную работу в качестве физика-экспериментатора. Это оказало влияние на его дальнейший творческий путь. Трудно найти физика-теоретика, который бы так хорошо, как Я. Б. Зельдович, чувствовал и знал современный эксперимент, технику, промышленность. Его деятельность всегда была тесно связана с экспериментом и протекала бок о бок с экспериментаторами (среди которых, кстати, есть также много его учеников). Ему неоднократно приходилось руководить большими коллективами теоретиков, экспериментаторов и инженеров при решении ряда важных научно-технических задач.

Якову Борисовичу принадлежит много оригинальных предложений по постановке различных экспериментов, и нередко он сам, будучи уже крупнейшим теоретиком, со свойственной ему энергией и страстностью участвует в экспериментах, направленных на выяснение волнующих его проблем (так это было, например, в экспериментах по поиску кварков, поставленных в МГУ).

Вызывает восхищение поразительная научная интуиция Я. Б. Зельдовича. Его внимание сразу привлекают наиболее «горячие» проблемы, поставленные в процессе развития науки и (что весьма существенно) доступные для решения на ее современном уровне. С этим связано удивительное по своему диапазону изменение центра научных интересов Якова Борисовича, происходящее на всем протяжении его деятельности, от вопросов химической физики, горения, газодинамики и гидродинамики к вопросам ядерной физики, физики элементарных частиц, к проблемам гравитации, астрофизики и космологии. Как правило, все проблемы, которыми начинал заниматься Я. Б. Зельдович, вскоре оказывались в центре внимания мировой науки и в них удавалось получить фундаментальные результаты, значительная часть которых при этом оказывалась принадлежащей Якову Борисовичу.

Всех, знающих Я. Б. Зельдовича, всегда восхищает, с какой быстротой он способен «входить» в совершенно новую для него область исследования. Кажется, еще совсем недавно Яков Борисович начал изучать новую проблему, еще совсем недавно, не стесняясь, задавал «наивные» вопросы, вызывавшие улыбки специалистов, говорил и спорил с различными людьми, чаще всего молодыми,— и «вдруг» появляются работы Я. Б. Зельдовича в новой области, решающие важные задачи, не замеченные ранее специалистами; появляются работы, ставящие новые оригинальные проблемы, открывающие новые закономерности, указывающие способы экспериментального решения вопроса. Сам Яков Борисович никогда не делал секрета из того, каким образом ему удается быстро освоиться в новой области науки. «Лучший способ как следует изучить новую область — это поставить и решить какую-нибудь задачу»,— рекомендует Я. Б. Зельдович. Однако в действительности секретом является то, как Якову Борисовичу удается находить такое количество интереснейших задач. Л. Д. Ландау нередко говорил, что он не знает ни одного физика, исключая Э. Ферми, который обладает

© «Успехи физических наук», 1974.

таким богатством новых идей, как Я. Б. Зельдович. Дополняя эти слова, можно сказать, что трудно также найти такого ученого, который так охотно делился бы с другими богатством своих идей, как это делает Яков Борисович. Точно так же трудно найти человека, который относился бы с таким энтузиазмом и благожелательностью к чужим идеям, как Я. Б. Зельдович. Очень много людей, и теоретиков, и экспериментаторов, и инженеров, на всю жизнь сохраняют чувство благодарности к Якову Борисовичу за поддержку, которую он оказал им в становлении и осуществлении их идей. Неудивительно поэтому, что с самого начала научной деятельности Я. Б. Зельдович был всегда окружен большим количеством учеников. Повторяя еще раз, что интересы Якова Борисовича нередко перемещались в совершенно новые области науки, нельзя не отметить, что во всех областях, в которых ему приходилось работать, он оставил самостоятельные научные школы, успешно развивающие начатые им направления исследований. При этом Я. Б. Зельдович постоянно «взаимодействует» со своими бывшими учениками, находится в курсе их работ и оказывает неоценимую помощь своим обсуждением и критикой. Надо сказать, что Яков Борисович, как правило, не оставляет своих прежних направлений исследований и постоянно возвращается к ним снова, перенося новые идеи и результаты, полученные в той области науки, которая в данный момент его больше всего интересует. Таким образом возникают блестящие работы Я. Б. Зельдовича, выполненные в наиболее перспективных направлениях, на «стыке» различных наук — космологии и физики элементарных частиц, химической кинетики и гидродинамики, ядерной и молекулярной физики.

Почти всех работающих с Яковом Борисовичем всегда поражает, каким образом ему удается еще до выполнения последовательных расчетов или оценок предвидеть их окончательный результат. Это объясняется исключительной ясностью мышления Я. Б. Зельдовича и его способностью глубоко проникнуть в самую суть рассматриваемого вопроса. Эти качества Якова Борисовича позволяют ему получать правильные оценки для самых сложных, не поддающихся строгому расчету явлений. С этой точки зрения мы не знаем никого, кто бы мог с ним сравниться.

Стремление к ясности и простоте — одна из характерных черт научного стиля Я. Б. Зельдовича. Он — враг всякого наукообразия и запутывания вопроса. Математический аппарат, которым он владеет в совершенстве, в его работах всегда адекватен рассматриваемой задаче и помогает выявить физическую сущность вопроса. Интуиция физика нередко помогала Якову Борисовичу решать сложнейшие математические задачи и находить методы, не известные специалистам-математикам. Мастерство Я. Б. Зельдовича в выборе математических средств исследования и умение увязать их с конкретными физическими явлениями воплотилось в созданных им оригинальных учебниках математики, пользующихся большой популярностью. Деловой, научный стиль работы Якова Борисовича неотделим от его прекрасных душевных качеств: простоты, демократизма, ненависти к болтовне и лени, умению терпеливо объяснить вопрос, большой человеческой чуткости.

Совершенно невозможно коротко перечислить огромное разнообразие результатов и идей Я. Б. Зельдовича, тем более, что помимо публикаций с его авторским участием, они фактически присутствуют в множестве работ его учеников и сотрудников. Не претендуя на полноту и последовательность, упомянем наиболее известные и плодотворные результаты многолетней работы Якова Борисовича. Мы не станем приводить подробную библиографию работ Я. Б. Зельдовича, а только дадим отдельные ссылки необходимых случаях.

Горение, детонация, ударные волны и высокотемпературные гидродинамические явления. Целый ряд принципиальных результатов и плодотворных идей Я. Б. Зельдовича входит теперь в фундамент обширной области физики процессов горения, детонации, ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. Все эти достижения Я. Б. Зельдовича и его научной школы, так же как и самый ранний цикл работ по химической кинетике, хорошо известны и подробно изложены в целом ряде книг и монографий с его участием.

Исследования Якова Борисовича по физике горения и детонации стали классическими. Изучение процессов горения — важнейшего раздела макроскопической химической кинетики — привело Я. Б. Зельдовича к таким классическим работам, как работы о режимах распространения пламени и о связи скорости распространения с характеристиками горючей смеси; об устойчивости пламени; о поджигании смеси накаленной поверхностью; об индукционном режиме горения и т. д. Яков Борисович создал физические основы внутренней баллистики ракетных пороховых двигателей. Этот обширный цикл работ по теории горения (его экспериментальной проверке и техническим приложениям) создавался в тесном содружестве с его многими учениками и последователями и особенно с его близким другом и соратником Давидом Альбертовичем Франк-Каменецким, который был соавтором статьи в УФН[1] (совместно с Я. А. Смородинским) к пятидесятилетию Я. Б. Зельдовича. В этой статье имеется глубокий анализ научной деятельности Якова Борисовича в области химической кине-

тики, горения, детонации, ударных волн, которых мы лишь касаемся здесь. Роль и значение указанных работ Я. Б. Зельдовича за прошедшие десять лет еще более возросло. К тому же, несмотря на переход к новым областям физики, Яков Борисович продолжал активную деятельность в этом направлении, сделав целый ряд новых интересных работ.

Исследование структуры фронта плоской стационарной детонационной волны позволило объяснить различные режимы и пределы детонации. Известное условие Чэпмена — Жуге о равенстве скорости звука скорости вещества относительно фронта детонационной волны получило в работах Я. Б. Зельдовича естественную интерпретацию. Всем известно изящное решение задачи о сферической детонационной волне, данное Яковым Борисовичем, его важный вклад в теорию спиновой детонации. Принципиальное значение имели результаты Я. Б. Зельдовича о структуре фронта мощных ударных волн с учетом лучистого переноса энергии [2]. Лучистый перенос энергии становится основным фактором, определяющим ширину фронта, когда амплитуда ударной волны достаточно велика, и тем самым лучистый перенос становится основным механизмом диссипации энергии внутри ударного фронта. Яков Борисович указал, что такую задачу нужно решать, принимая во внимание конечную величину пробега фотонов, т. е. на основании уравнения переноса излучения. Здесь он заложил основы дальнейших исследований (совместно с Ю. П. Райзером) о яркости ударных волн, распространяющихся в различных средах, в том числе и в твердых телах. На близкую тему выполнена работа Я. Б. Зельдовича (совместно с А. С. Компанейцем и Ю. П. Райзером) о волне охлаждения, в которой снова основную роль играет взаимодействие излучения и вещества. Фактически задача была сведена к стационарной задаче о структуре фронта волны охлаждения, в которой, в отличие от предыдущей проблемы о структуре фронта ударной волны, поток энергии излучения может беспрепятственно уходить на бесконечность. Эти работы являются замечательными примерами стационарных режимов, играющих столь важную роль в физических приложениях. Например, задача о волне охлаждения была успешно применена к объяснению высвечивания огненного шара, образующегося при мощных взрывах в воздухе. Несомненно, крупной вехой в развитии гидродинамической теории стала работа Якова Борисовича о коротком ударе [3]. Под воздействием короткого импульса давления, приложенного к поверхности среды, в ней возникает движение автомодельного типа с весьма интересными особенностями. В соответствующем автомодельном решении Я. Б. Зельдович, несмотря на парадокс бесконечной величины полной энергии, правильно описывает движение в окрестности ударного фронта, распространяющегося внутрь среды. Статья Якова Борисовича о коротком ударе производит большое впечатление необычайной ясностью физического анализа найденного решения. Большое самостоятельное значение имеет изящная работа Я. Б. Зельдовича о распространении тепла в случае нелинейной теплопроводности при мгновенном выделении некоторой тепловой энергии [4]. Впоследствии [5] Я. Б. Зельдович, анализируя решение о коротком ударе, а также другие автомодельные решения тепловых и гидродинамических явлений, сформулировал (совместно с Г. И. Баренблаттом) четкую систему взглядов об их физическом смысле в качестве промежуточно-асимптотических решений полной задачи. Одновременно была дана классификация существующих автомодельных решений на два существенно различающихся типа, из которых в первом автомодельная переменная может быть найдена из соображений размерности, а во втором — только из условий существования промежуточно-асимптотических решений в целом. В сочетании с численными методами исследований поиск автомодельных решений стал сейчас одним из главных путей количественной разработки сложных физических и технических проблем. Совершенно ясно, насколько велик идейный вклад Якова Борисовича в научный прогресс на этом направлении.

Разработка Я. Б. Зельдовичем приближенных методов решения неодномерных гидродинамических задач привела к предложению им ряда эффективных методов, которые наряду с методами зарубежных авторов (Чизнелла, Уитема и др.) широко использовались для решения задач о распространении ударных волн в неоднородных средах и для исследования устойчивости различных гидродинамических течений.

Нельзя не вспомнить также, что Яков Борисович постоянно интересовался проблемой кумуляции гидродинамических течений и чрезвычайно много сделал для решения этой проблемы [6].

Ядерная энергетика. В цикле работ, выполненных Я. Б. Зельдовичем и Ю. Б. Харитоном в 1939—1940 гг., были заложены основы физики реакторов и ядерной энергетики. В этих работах была впервые рассмотрена цепная реакция на быстрых нейтронах и исследован эффект ухода нейтронов за порог деления из-за рассеяния. Далее, была сформулирована теория гомогенного реактора на тепловых нейтронах, получен коэффициент размножения в такой системе и развита теория резонансного поглощения нейтронов ядрами U^{238}. Была рассмотрена кинетика реактора и указано на принципиальную роль запаздывающих нейтронов для процесса регулирования работы реактора.

Выдающееся значение для практического получения цепной реакции имела деятельность Я. Б. Зельдовича в числе ближайших сотрудников И. В. Курчатова (см., например, книгу И. Н. Головина «И. В. Курчатов»).

Ядерная физика. Я. Б. Зельдович предсказал целый ряд интереснейших явлений в области ядерной физики. В 1953 г. он указал на возможность катализа мезонами ядерных реакций в холодном водороде [7]. (Это явление было экспериментально открыто в 1956 г.) Яковом Борисовичем была разработана детальная теория [8] процесса μ-катализа и связанных с ним явлений (подтвержденная большим числом экспериментов).

В 1957 г. Я. Б. Зельдович показал, что в холодном водороде, сжатом до плотности порядка $0{,}7 \cdot 10^5$ *г/см*^{3}, начинают интенсивно происходить (за счет подбарьерного перехода) ядерные реакции, приводящие к разогреванию вещества. Указанное соображение имеет большое значение для астрофизики, так как оно устанавливает предел возможного сжатия холодного водорода: согласно расчетам Якова Борисовича холодный водород с массой около $0{,}75\,M_{\odot}$, сжимаемый силами гравитации, менее чем за 10^8 лет *превращается в горячую звезду.*

В 1959 г. Я. Б. Зельдович указал оригинальный способ удержания нейтронов, основанный на том, что ультрахолодные нейтроны испытывают полное внутреннее отражение при любых углах падения на вещество с положительной длиной рассеяния. Этот способ был экспериментально осуществлен в ОИЯИ Ф. Л. Шапиро и его сотрудниками в 1968 г. Он открывает уникальные возможности исследования свойств нейтрона.

Яков Борисович предсказал возможность существования ядер с большим избытком нейтронов. Одно из таких ядер — ядро He^8 — было открыто в соответствии с этим предсказанием в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ. (Нетривиальность этого открытия *очевидна, так как ядра* He^5 *и* He^7 *не существуют.*)

Физика элементарных частиц. С 1952—1953 гг. внимание Я. Б. Зельдовича привлекают проблемы физики элементарных частиц. В работе [9] на основе обобщения ряда экспериментальных фактов им был четко сформулирован закон сохранения барионов и введено понятие барионного заряда. Указанная работа Я. Б. Зельдовича (наряду с появившейся несколько ранее работой Вигнера) сыграла важную роль в установлении этого фундаментального закона природы.

Яков Борисович сформулировал также понятие лептонного числа и закон сохранения лептонов [10]. (Это было сделано также независимо Г. Марксом). При этом Я. Б. Зельдович указал на возможность того, что электрон и μ-мезон обладают противоположными значениями лептонного числа. Такая схема предлагалась Яковом Борисовичем для того, чтобы запретить отсутствующий в природе процесс $\mu \to e + \gamma$. В настоящее время, после открытия двух типов нейтрино, электронного и мюонного, указанная схема (рассматривавшаяся также Махмудом и Конопинским) является наиболее «экономной» схемой, предлагаемой для объяснения различия между этими двумя типами частиц.

С конца 40-х — начала 50-х годов одной из интереснейших проблем стала физика слабых взаимодействий. Открытие распадов π- и μ-мезонов, а также процесса μ-захвата поставило вопрос о единой природе сил, вызывающих эти явления, и сил, вызывающих β-распад ядер. Включившись в исследование этой проблемы, Я. Б. Зельдович прежде всего ищет способы экспериментального определения закона β-распада и установления универсального характера слабых взаимодействий. Им, в частности, впервые предлагается проведение измерений поляризации частиц в β-распаде с целью определения относительного знака вариантов взаимодействия [11]. Через несколько лет после этого поляризационные измерения становятся одним из основных экспериментальных методов изучения слабых взаимодействий.

В 1954 г. Яков Борисович предсказывает новое явление — β-распад заряженных π-мезонов. Способ рассмотрения этого явления в каком-то смысле характерен для научного стиля Я. Б. Зельдовича. Исходя вначале из составной модели π-мезона, предложенной Ферми и Янгом, Яков Борисович замечает, что благодаря изотопической инвариантности волновые функции нуклона и антинуклона в заряженных и нейтральных π-мезонах одинаковы. Поэтому матричный элемент перехода $\pi^{\pm} \to \pi^0$, определяющий вероятность процесса, должен быть таким же, как в случае перехода между зеркальными ядрами с изотопспином $T = 1$, т. е. не зависящим от модели. Этот вывод сыграл решающую роль в последующей работе Я. Б. Зельдовича, где было установлено фундаментальное свойство векторного варианта слабых взаимодействий, называемое сейчас законом сохранения векторного тока [12].

Яков Борисович заметил, что при учете β-распада π-мезонов облако виртуальных π-мезонов, окружающих нуклоны, не должно менять векторную константу β-распада (аналогично тому, как оно не меняет электрического заряда сильновзаимодействующих частиц). Следует напомнить, что в то время на основании экспериментальных данных считалось, что β-взаимодействие представляет комбинацию скалярного и тен-

зорного вариантов Тот факт, что Я. Б. Зельдович не прошел мимо замечательного свойства векторного варианта, лишний раз свидетельствует о его поразительной интуиции. Интересно также, что изучение влияния виртуальных π-мезонов на β-распад нуклонов было предпринято им с целью сравнить этот процесс с распадом μ-мезона и определить изменение отношения гамов-теллеровского и фермиевского вариантов β-распада (предполагая, что в отсутствие сильных взаимодействий это отношение равно единице). Именно такая программа и была проведена в дальнейшем, когда было установлено, что слабые взаимодействия представляют комбинацию векторного и аксиально-векторного вариантов. Закон сохранения векторного тока является одним из основных и общих положений современной теории слабых взаимодействий. Он оказал существенное влияние и на теорию сильных взаимодействий, послужив примером для построения теории PCAC, алгебры токов, векторной доминантности.

Уже краткое перечисление результатов, полученных Яковом Борисовичем, показывает, что им внесен фундаментальный вклад в физику слабых взаимодействий. Им указано существование новых электромагнитных характеристик частиц, возникающих при нарушении четности (в частности так называемого анапольного момента), изучено влияние слабых взаимодействий на электромагнитные свойства частиц (совместно с А. М. Переломовым) и впервые обращено внимание на существование зарядового форм-фактора нейтрино [13], замечено, что вероятность распада короткоживущего нейтрального K_S^0-мезона должна быть по порядку величины равна разности масс короткоживущего и долгоживущего мезонов [14]. Работы Я. Б. Зельдовича имели решающее значение для экспериментальной проверки универсального закона слабых взаимодействий и установления относительного знака векторного и аксиально-векторного вариантов в элементарном процессе захвата μ-мезона протоном в водороде [15].

В настоящее время, когда широко обсуждаются возможность создания единой теории слабых и электромагнитных взаимодействий и проблема нейтральных токов, необходимо отметить, что одни из первых работ в этом направлении были сделаны Яковом Борисовичем еще в 1959 г. [16, 17]. В частности, в работе [17] он указал, что предположение о единой природе слабых и электромагнитных взаимодействий приводит к заключению о том, что масса промежуточного бозона (M_W) должна быть порядка 30 *Гэв*, при этом масса μ-мезона имеет порядок $m_\mu \sim \alpha M_W$ ($\alpha = e^2/\hbar c$), а масса электрона $m_e \sim \alpha^2 M_W$. Весьма возможно, что именно это замечание сыграет роль путеводной нити в решении загадочной проблемы μ — e-универсальности.

В 1958 г. Я. Б. Зельдович предложил способ обнаружения короткоживущих частиц путем измерения распределения числа событий по эффективной массе продуктов распада [18]. Этот способ явился одним из основных методов поисков и изучения нестабильных частиц-резонансов.

Большой энтузиазм вызвало у Якова Борисовича появление гипотезы кварков. Им были проведены оценки возможной концентрации кварков в веществе (совместно с Л. Б. Окунем и С. Б Пикельнером), предложен целый ряд остроумных экспериметов по поиску кварков, рассмотрена возможность существования «экзотических» барионных состояний из четырех кварков и антикварка [19].

А с т р о ф и з и к а. В начале 60-х годов научные интересы Я. Б. Зельдовича все больше обращаются к астрофизике. Первые его работы в этой области связаны с применением общей теории относительности к астрофизическим процессам. Он создал Отдел теоретической астрофизики в Институте прикладной математики АН СССР, который и возглавляет в настоящее время. Созданная им школа теоретической астрофизики быстро завоевала международное признание. Многие астрофизические работы Я. Б. Зельдовича, о которых мы будем говорить далее, выполнены им в соавторстве со своими молодыми сотрудниками. Астрофизические работы Якова Борисовича характеризуются привнесением в эту старую науку совершенно новых оригинальных методов. Начало его работы в астрофизике совпало с открытием совершенно уникальных объектов — квазаров, окончательная природа которых не разгадана и до сих пор, и с открытием так называемого реликтового излучения Вселенной, доказывающего, что на ранних этапах космологического расширения вещество имело очень высокую температуру, т. е. Вселенная была «горячей».

Внимание Я. Б. Зельдовича сразу привлекают наиболее острые вопросы теоретической астрофизики. Это — проблемы последних катастрофических стадий эволюции звезд, проблемы квазаров, проблемы начальных стадий расширения Вселенной и проблемы развития неоднородностей в расширяющейся Вселенной, которые приводят к возникновению отдельных небесных тел.

С обычным для Якова Борисовича глубоким пониманием роли эксперимента он указал, как новые методы наблюдений в оптической, рентгеновской и радиоастрономии, связанные в том числе и с аппаратами на спутниках, ракетах и космических кораблях, могут привести к проверке развиваемых в астрофизике теории и к новым неожиданным открытиям. Ему принадлежит инициатива в постановке специалистами многих экспериментов.

Я. Б. Зельдовичем была построена теория строения сверхмассивных звезд с массой от сотен тысяч до миллиардов масс Солнца. Для объяснения равновесия таких звезд важны эффекты общей теории относительности и рождения пар e^+e^- в плазме большой температуры. Яковом Борисовичем была указана важная роль вращения в таких звездах. Вся эта теория важна для описания возможных процессов в ядрах галактик и квазарах, относительно природы которых пока еще нет ясности. Независимо теория больших звезд была развита рядом западных ученых. Другой возможной моделью для квазаров и ядер галактик является компактная звездная система. Я. Б. Зельдовичем была построена теория таких систем, для конечных стадий эволюции которых также важны релятивистские эффекты.

Яковым Борисовичем была впервые нарисована полная качественная картина последних этапов эволюции обычных звезд разной массы и даны оценки влияния различных факторов на эту эволюцию и ее устойчивость. После полузабытых астрофизиками работ 30-х годов Ландау и Оппенгеймера с сотрудниками им была развита теория, показывающая, при каких обстоятельствах в конце эволюции звезда должна либо превращаться в нейтронную звезду, либо испытывать состояния катастрофического сжатия под действием собственного тяготения. Этот последний процесс получил название гравитационного коллапса. Когда звезда сжимается до критических размеров — гравитационного радиуса,— вступают в игру эффекты общей теории относительности. Огромное поле тяготения не выпускает никакое излучение. Такие гипотетические объекты позже получили название «черные дыры».

Я. Б. Зельдович вместе со своими сотрудниками детально исследовал свойства «черных дыр» и процессы, которые должны протекать в их окрестности. Было показано, что внешнее гравитационное поле «черной дыры» должно описываться только сохраняющимися величинами — массой и угловым моментом. Любые другие несимметрии в поле излучаются в виде гравитационных волн в ходе образования «черной дыры».

Я. Б. Зельдовичем были исследованы процессы, которые могут помочь открыть «черные дыры». Он предложил искать их как невидимые компоненты в составе двойных звезд. Яковом Борисовичем было подчеркнуто, что при падении газа в поле «черной дыры» (так называемый процесс аккреции газа) этот газ разогревается и еще до «провала» в «черную дыру» излучает весьма интенсивно, что может помочь в открытии «черных дыр». В работе [20] им было впервые указано, что аккреция газа должна быть особенно сильна в тесных двойных системах, где один компонент — нормальная звезда, а второй —«черная дыра». Аккреция должна приводить к излучению рентгеновских лучей, и, следовательно, «черные дыры» следует искать как рентгеновские источники в двойных системах. Впоследствии теория такой аккреции была подробно развита учениками Якова Борисовича. В настоящее время с большой вероятностью можно утверждать, что «черная дыра» уже открыта как источник рентгена в двойной звездной системе Cyg X-1.

Другим важным направлением астрофизических исследований Я. Б. Зельдовича явилась космология. В начале 60-х годов вопрос о начале космологического расширения был сугубо теоретическим и далеким от проверки наблюдениями. Яков Борисович в то время был сторонником так называемого «холодного» варианта начала расширения, объясняющего химический состав в некоторых старых звездах. Но с характерной для него объективностью он всячески стимулировал исследования и по «горячему» варианту начала расширения. Его сотрудники рассчитали, как могло бы проявиться сегодня излучение этого в прошлом «горячего» расширяющегося вещества, т. е. как по наблюдениям отличить «холодный» вариант от «горячего». Сразу после открытия реликтового излучения он признал, что наблюдения доказывают «горячий» вариант, и активно стал разрабатывать теорию процессов в «горячей» Вселенной. Здесь им и его сотрудниками получены фундаментальные результаты.

Была построена теория взаимодействия горячей плазмы расширяющейся Вселенной и излучения. Рассмотрены процессы искажения спектра реликтового излучения и возникновения мелкомасштабных флуктуаций интенсивности излучения.

Эти вопросы важны для решения еще одной проблемы — проблемы возникновения галактик в расширяющейся системе.

Согласно общепринятым представлениям галактики должны образовываться вследствие гравитационной неустойчивости первоначально малых флуктуаций. Я. Б. Зельдович продолжил первые исследования Е. М. Лифшица этого вопроса и создал вместе с сотрудниками физическую теорию роста возмущений в «горячей» Вселенной. Но самый большой вклад в теорию этого вопроса был им внесен при исследовании последней стадии формирования галактик, когда возмущения уже не малы и теория становится нелинейной. До Якова Борисовича «наивно» полагали, что гравитационная неустойчивость ведет к появлению «комков» — в первом приближении шаров — протогалактик. Я. Б. Зельдович показал, что происходит совсем другое. В так называемой адиабатической теории малые возмущения плотности нарастают из-за гравитационной неустойчивости. Однако возникающие образования имеют форму не «комков», а «блинов»—«плоских» двумерных образований высокой плотности, которые являются, вероятно, протоскоплениями галактик. Подробно рассчитываются

физические процессы при таком образовании галактик и, что типично для всех работ Я. Б. Зельдовича, указывается, как теорию следует проверять наблюдениями.

Яковом Борисовичем вместе с сотрудниками выполнен цикл работ по индуцированному комптон-эффекту [21]. Эти процессы в астрофизике должны быть важны при изучении мощных источников излучения, таких, как пульсары, квазары, ядра галактик. Помимо этого, эти процессы интересны с точки зрения взаимодействия лазерного излучения с веществом.

Одной из самых загадочных проблем астрофизики является проблема космологической сингулярности в прошлом. Космологическое расширение началось около 10 млрд. лет назад от сингулярности.

Возникает ряд проблем и среди них вопрос: что было до сингулярности, почему, если и не с самого начала, то очень быстро расширение стало изотропным (что мы наблюдаем и сейчас)? Эти вопросы пока не решены. Но Я. Б. Зельдович с его неисчерпаемым научным остроумием внес в их решение большой вклад. Как было известно, вблизи сингулярности должны проявляться квантовые свойства тяготения. Яков Борисович показал, что при анизотропном начале расширения квантовые эффекты вблизи сингулярности приведут к интенсивному рождению пар частиц — античастиц. Тяготение этих частиц сильно влияет на динамику расширения, причем таким образом, что уменьшает анизотропию и делает расширение изотропным. Может быть, этим объясняется изотропия Вселенной.

Работы Я. Б. Зельдовича и его школы по космологии и пекулярным небесным телам, по существу, создали новую ветвь астрофизики — релятивистскую астрофизику.

Эти работы были подытожены им в трех монографиях (совместно с И. Д. Новиковым) (см. список монографий в конце статьи).

В 1970 г. на 14 Генеральной ассамблее Международного Астрономического союза Я. Б. Зельдович был избран первым президентом вновь созданной Космологической комиссии МАС.

* *

Работы Я. Б. Зельдовича получили самое широкое международное признание. Он является членом ряда международных и зарубежных обществ.

Мы неоднократно подчеркивали выше редкое дарование Якова Борисовича — доводить фундаментальные научные идеи до конкретного воплощения — воплощения в наблюдениях и эксперименте или осуществления в технике и промышленности. Это свойство особенно ценно в наш научный и технологический век.

Родина высоко оценила научный труд Якова Борисовича Зельдовича. Он трижды удостоен звания Героя Социалистического Труда, награжден двумя орденами Ленина, другими орденами и медалями.

Я. Б. Зельдович является лауратом Ленинской премии, четырежды ему присуждалась Государственная премия СССР.

Блестящего таланта физик, исследователь загадок природы с неукротимым темпераментом, борец с псевдонаучной болтовней и рутиной, учитель и воспитатель нескольких поколений научной молодежи, замечательный пропагандист и популяризатор науки, справедливый, остроумный и жизнерадостный человек — вот каким предстает Яков Борисович в канун своего шестидесятилетия.

Мы горячо желаем Якову Борисовичу крепкого здоровья и дальнейших творческих успехов.

С. С. Герштейн, И. И. Гуревич, В. С. Имшенник,
И. Д. Новиков, Б. М. Понтекорво, Р. З. Сагдеев

ЛИТЕРАТУРА

1. УФН 82, 567 (1964) (совместно с Д. А. Франк-Каменецким, Я. А. Смородинским).
2. Ударные волны большой амплитуды в воздухе, ЖЭТФ 32, 1126 (1957); Ударные волны большой амплитуды в газах, УФН 63, 613 (1957) (совместно с Ю. П. Райзером).
3. Движение газа под действием кратковременного давления (удара), Акуст. ж. 2, 28 (1956).
4. К теории распространения тепла при теплопроводности, зависящей от температуры, «Сборник, посвященный 70-летию академика А. Ф. Иоффе». М., Изд-во АН СССР, 1950, стр. 61 (совместно с А. С. Компанейцем).
5. Промежуточные асимптотики в математической физике. УМН 26 (2), 115 (1971) (совместно с Г. И. Баренблаттом).
6. Цилиндрические автомодельные акустические волны, ЖЭТФ 33, 700 (1957); Сходящаяся цилиндрическая детонационная волна, ЖЭТФ 36, 782 (1959).
7. Реакции, вызываемые μ-мезонами в водороде, ДАН СССР 95, 493 (1954).

8. О реакциях, вызываемых μ-мезонами в водороде, ЖЭТФ **32**, 947 (1957) (совместно с А. Д. Сахаровым); О возможной эффективности мезонного катализа ядерных реакций, ЖЭТФ **33**, 310 (1957).
9. К теории элементарных частиц. Сохранение ядерного заряда и возможный новый тип β-частиц, ДАН СССР **86**, 505 (1952).
10. О нейтринном заряде элементарных частиц, ДАН СССР **91**, 1317 (1953).
11. Использование разрешенных β-превращений для определения взаимодействия, вызывающего β-распад, Изв. АН СССР, сер. физ. **18**, 243 (1954).
12. О мезонных поправках в теории β-распада, ЖЭТФ **29**, 698 (1955) (совместно с С. С. Герштейном).
13. Влияние слабого взаимодействия на электромагнитные свойства частиц, ЖЭТФ **39** 1115 (1960) (совместно с А. М. Переломовым).
14. О распаде и разности масс тяжелых нейтральных мезонов, ЖЭТФ **30**, 1168 (1956).
15. Универсальное ферми-взаимодействие и захват μ-мезона протонами, ЖЭТФ **35**, 821 (1958) (совместно с С. С. Герштейном).
16. Несохранение четности первого порядка по константе слабого взаимодействия в рассеянии электронов и других эффектах, ЖЭТФ **36**, 964 (1959).
17. О массе μ-мезона и электрона, ЖЭТФ **37**, 1817 (1959).
18. Тяжелый нейтральный мезон: распад и способ обнаружения, ЖЭТФ **34**, 1644 (1958).
19. Кварковая структура и массы сильновзаимодействующих частиц, Ядерная физика **4**, 395 (1966) (совместно с А. Д. Сахаровым).
20. Физика гравитационного коллапса, Nuovo Cimento Suppl, **4**, 816 (1966) (совместно с И. Д. Новиковым).
21. Структура ударной волны в спектре излучения при бозе-конденсации фотонов, ЖЭТФ **62**, 153 (1972) (совместно с Р. А. Сюняевым).

МОНОГРАФИИ

1. Теория горения и детонации газов. М., Изд-во АН СССР, 1944.
2. Теория ударных волн и введение в газодинамику. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1946.
3. Расчеты тепловых процессов при высокой температуре. М., Изд-во Бюро новой техники, 1947 (совместно с А. И. Полярным).
4. Окисление азота при горении. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1947 (совместно с П. Я. Садовниковым и Д. А. Франк-Каменецким).
5. Тепловой взрыв и распространение пламени в газах. М., Изд. Московск. мех. ин-та, 1947 (совместно с В. В. Воеводским).
6. Турбулентное и гетерогенное горение. М., Изд. Московск. мех. ин-та, 1947 (совместно с Д. А. Франк-Каменецким).
7. Теория детонации. М., Гостехиздат, 1955 (совместно с А. С. Компанейцем).
8. Импульс реактивной силы пороховых ракет. М., Оборонгиз, 1963 (совместно с М. А. Ривиным и Д. А. Франк-Каменецким).
9. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений, изд. 2-е. М., Физматгиз, 1966 (совместно с Ю. П. Райзером).
10. Релятивистская астрофизика. М., «Наука», 1967 (совместно с И. Д. Новиковым).
11. Высшая математика для начинающих и ее приложение к физике, изд. 5-е, исправл. и дополн. М., «Наука», 1970.
12. Теория тяготения и эволюция звезд. М., «Наука», 1971 (совместно с И. Д. Новиковым).
13. Рассеяние, реакции и распад в нерелятивистской квантовой механике. М., «Наука», 1971 (совместно с А. И. Базем и А. М. Переломовым).
14. Элементы прикладной математики, изд. 3-е. М., Наука, 1972 (совместно с А. Д. Мышкисом)
15. Элементы математической физики. Среда из невзаимодействующих частиц. М., «Наука», 1973 (совместно с А. Д. Мышкисом).
16. Строение и эволюция Вселенной. М., «Наука» (совместно с И. Д. Новиковым) (в печати).