

ничеству, Международной воздушной транспортной ассоциации и др.).

На совещании было продолжено рассмотрение действующих правил МАГАТЭ, замечаний и предложений по этим правилам и по предварительному тексту новых правил, подготовленному секретариатом Агентства на основании результатов первого совещания экспертов. За время между двумя совещаниями эксперты и советники имели возможность ознакомиться с советскими «Правилами перевозки радиоактивных веществ» [3], их обоснованиями и с предложениями США, Великобритании и других стран. Большая работа по подготовке проекта новых правил была проведена секретариатом Агентства, что положительно отразилось на работе совещания.

Кроме пленарных заседаний на совещании работали четыре группы и несколько подгрупп, подготавливавшие отдельные вопросы для включения в правила.

Одним из наиболее важных решений совещания явилось согласование единой классификации упаковок для перевозки радиоактивных веществ, включающей три транспортные категории упаковок, как это принято в советских правилах для обычных перевозок радиоактивных веществ, при одновременном использовании «показателя излучения», принятого в правилах МАГАТЭ и некоторых стран, а также «белых» и «желтых» ярлыков для маркирования упаковок.

Рассматривалась опасность облучения при обычных перевозках и хранении упаковок с радиоактивными веществами и условия, при которых обеспечивается безопасность для населения и транспортного персонала, а также для непроявленных кино-, фото- и рентгеновских пленок и пластинок. Было согласовано, что при перевозках и хранении радиоактивных веществ никто не должен получать дозы облучения, превышающие предельно допустимые для лиц соответствующих категорий. Это может обеспечиваться при условии, что доза облучения за один рейс или время хранения упаковок не превысит 100 мр для людей и 10 мр для чувствительных материалов. Совещание одобрило предложенные для этой цели таблицы, рассчитанные из условия получения указанных доз облучения при разных количествах упаковок (или «показателей излучения»), различном времени пребывания близ них и в зависимости от расстояния от упаковок [4]. Эти таблицы должны заменить имеющиеся таблицы в действующих правилах МАГАТЭ, поскольку они более универсальны, пригодны для всех видов транспорта и практически для любых условий перевозки и хранения упаковок.

Участники совещания сочли возможным не учитывать расстояния от упаковок I транспортной категории (с белым ярлыком и одной вертикальной красной полосой на нем), а для упаковок II и III категорий (с желтым ярлыком и двумя и тремя красными полосами) пользоваться таблицами, рассчитанными для случаев отсутствия экранирующих материалов и при наличии таких материалов, ослабляющих излучение

в 10 и 100 раз. Были приняты таблицы толщин некоторых, практически наиболее часто встречающихся материалов, создающих указанные ослабления излучения.

Согласованы формы единых ярлыков для маркировки упаковок. Из ярлыков, принятых в правилах МАГАТЭ, исключено изображение черепа, костей и лучей, а на нижней их половине — цифры «7», и введены вертикальные красные полосы, число которых указывает категорию упаковки.

Отдельная группа рассмотрела требования к упаковкам и их испытаниям. В основу работы этой группы были положены результаты специального совещания по этому вопросу, проведенного МАГАТЭ в октябре 1963 г.

Группа по делящимся материалам уточнила условия безопасности по критичности и разделила в зависимости от этого упаковки на три класса. К I классу отнесены упаковки, безопасные при любом количестве и размещении, ко II классу — такие упаковки, число которых ограничивается в одном месте, а к III классу — такие, при перевозке которых необходима специальная договоренность. Решено рекомендовать для включения в правила несколько таблиц и графиков, необходимых для оценки критичности при перевозке делящихся материалов.

Результаты работы группы рассматривались на пленарных заседаниях совещания, в которых участвовали не только эксперты и советники, но и наблюдатели от различных организаций. На этих заседаниях были согласованы также общие принципы построения правил и область их применения, некоторые требования к перевозкам упаковок различными видами транспорта, в том числе такие, как перевозки средствами связи (по почте), в универсальных железнодорожных контейнерах, перевозки приборов с изотопными источниками излучения, общие принципы безопасности, языки документов и ярлыков, мероприятия по устранению аварий и их последствий, а также некоторые другие вопросы. Были подтверждены решения, согласованные на первом совещании экспертов.

Ожидается, что проект новых правил МАГАТЭ будет представлен на утверждение Совета управляющих МАГАТЭ в середине 1964 г.

Н. И. Лещинский

ЛИТЕРАТУРА

1. Правила безопасной перевозки радиоактивных материалов. МАГАТЭ, Вена, 1961.
2. Н. И. Лещинский. «Атомная энергия», 15, 272 (1963).
3. Правила перевозки радиоактивных веществ № 349—60. М., Госатомиздат, 1961.
4. Н. И. Лещинский. «Атомная энергия», 16, 386 (1964).

Антивещество и Вселенная

Несомненно существование в природе античастиц, рождающихся в хорошо известных процессах β^+ -распада ядер внутри звезд (позитроны) или в процессах столкновений частиц космических лучей (нуклон-антинуклонные пары, электрон-позитронные пары). Внутри сильно выгоревших звезд с высокой внутрен-

ней температурой возможно существование равновесной электронно-позитронной плазмы и даже нуклонно-антинуклонной плазмы. Д. А. Франк-Каменецкий [1] нашел условия, при которых возможен выброс такой плазмы в межзвездное пространство.

Более интересной является проблема равноправно-

го существования антивещества во Вселенной, т. е. проблема симметричной относительно вещества и антивещества Вселенной. С точки зрения фундаментальных законов физики, выражаемых релятивистски инвариантными волновыми уравнениями частиц, например уравнением Дирака, постановка такой проблемы вполне закономерна. Наоборот, существование крупных космических тел типа Солнца, состоящих из одних частиц, представляется удивительным и пока необъяснимым. Вполне естественны попытки построения космологических гипотез, исходящих из предположения о симметрии Вселенной. Основная задача таких гипотез состоит в нахождении механизма разделения вещества и антивещества из первоначального симметричного состояния и в объяснении того факта, что наблюдаемое во Вселенной вещество (и антивещество) не аннигилировало.

Одна из попыток сводилась [2] к предположению антигравитации как причины разделения. Существование антигравитации, т. е. отталкивания между античастицами и частицами, противоречащее принципу эквивалентности инерциального и гравитационного ускорений, не согласуется с результатами проверки принципа эквивалентности [3], поэтому гипотеза антигравитации несостоятельна.

Позднее появились идеи электромагнитного разделения в процессах, свойственных плазме, состоящей из заряженных частиц и античастиц. Одна из гипотез этого типа опубликована Альвеном и Клейном [4]. Неоднородности плотности плазмы и связанные с ней магнитные поля открывают возможность первичного разделения вещества и антивещества, похожего на электролиз. Образовавшиеся таким путем первичные сгустки испытывают дальнейшее разделение и укрупнение в результате столкновений. На основе оценки масштабов разделения Альвен и Клейн приходят к заключению, что симметрия относительно вещества и антивещества может существовать уже в пределах нашей Галактики.

Этот на первый взгляд парадоксальный вывод в действительности не может быть опровергнут существующими данными об антивеществе. Прямая оценка возможного числа антипротонов в нашей Галактике сделана Бёрбиджем и Хойлом [5] на основе определения верхнего предела энергии, которую могут иметь электроны и позитроны, образующиеся в результате аннигиляции пар нуклонов и последующих процессов распада мезонов. Вывод Бёрбиджа и Хойла состоит в том, что усредненное по объему Галактики произведение плотностей протонов n_+ и антипротонов n_- не превосходит 10^{-7} см^{-3} . Это условие не противоречит равенству средних плотностей $\bar{n}_+ = \bar{n}_-$, если вещество и антивещество в Галактике достаточно разделены в пространстве и диффузия между областями вещества и антивещества идет медленнее, чем в условиях свободного прямолинейного движения частиц или облаков газа. Например, если предположить, что одни из спиральных рукавов нашей Галактики состоят из вещества, другие из антивещества, то возможно найти условия диффузии, удовлетворяющие неравенству $\bar{n}_+ \bar{n}_- < 10^{-7} \text{ см}^{-3}$ в среднем по объему Галактики при существующей плотности внутри спиральных рукавов.

С предположением о симметричной Галактике, как может показаться на первый взгляд, не согласуются результаты определения числа античастиц, приходящих на Землю в составе космических лучей. В действительности эти определения относятся главным образом к частицам небольшой энергии (см., например, [6]), недостаточно жестким для преодоления магнитного

поля солнечной системы. Относительно частиц большой энергии, имеющих безусловно галактическое происхождение, определенных данных пока нет.

Следовательно, симметрия Вселенной относительно вещества и антивещества даже в масштабах нашей Галактики не может быть опровергнута имеющимися в настоящее время данными. Тем более нет оснований отрицать симметрию Метагалактики. Решение этого интересного вопроса возможно путем разработки методов наблюдения антивещества и изучения его распространения.

Принципиально одним из методов обнаружения антивещества является регистрация нейтрино и антинейтрино, испускаемых звездами. Так как нейтрино и антинейтрино различимы, то, наблюдая их, можно решить, испущены они звездой или антизвездой. Но регистрация нейтрино дело весьма трудное методически, и даже попытки обнаружить солнечные нейтрино находятся в стадии предположений с далеко не очевидной возможностью успеха. Так как потоки звездных нейтрино слабее потока солнечных нейтрино приблизительно во столько же раз, во сколько безлунная ночь темнее солнечного дня, то трудности регистрации звездных нейтрино пока не представляются преодолимыми.

Наблюдения частиц и античастиц первичного космического излучения, конечно, могут рассматриваться как метод обнаружения антивещества. Но следует изучать частицы внесолнечного происхождения, т. е. частицы с энергией $> 10^{14} \text{ эв}$, способные проникнуть через магнитные поля солнечной системы. Так как в атмосфере Земли такие частицы испытывают сложные превращения и теряются среди продуктов атмосферных ливней, то наблюдения должны проводиться за пределами атмосферы. Наблюдения заряженных частиц могут дать сведения о средней распространенности античастиц в Галактике, но не позволяют определить координаты их источника, как так их траектории искривляются магнитными полями в солнечной системе и за ее пределами.

Электромагнитные излучения, практически сохраняющие направление распространения, к сожалению, не позволяют отличить антивещество от вещества, так как антикванты и кванты тождественны. Хотя оптические спектры некоторых звезд неплохо изучены, но испущены ли они нормальной звездой типа Солнца или антизвездой сказать нельзя.

Специфические спектры электромагнитных излучений, однако, возникают в тех областях пространства, где вещество и антивещество смешаны и где, следовательно, неизбежно идут процессы аннигиляции. Если изучить распределение в пространстве таких областей перекрытия вещества и антивещества, то можно надеяться на составление представления и об областях пространства, занятых антивеществом. Поэтому одним из методов поисков антивещества можно считать наблюдения электромагнитных излучений, сопровождающих процессы аннигиляции частиц и античастиц.

Вещество во Вселенной представлено главным образом протонами и электронами. Естественно ожидать, что и антивещество представлено антипротонами и позитронами, поэтому в первую очередь следует рассматривать процессы аннигиляции этих стабильных частиц. Аннигиляция протона с антипротоном в большинстве случаев ведет к образованию π -мезонов. Число π -мезонов различно в разных случаях, но в среднем составляет около 5 π -мезонов на акт аннигиляции. Это число делится приблизительно поровну между π^+ , π^- и π^0 -мезонами. Средняя энергия π -мезона соста-

влияет около $(2 \times 938) : 5 \approx 380$ Мэв, в том числе энергия покоя ~ 140 Мэв, кинетическая энергия ~ 240 Мэв. Заряженные мезоны превращаются по схеме $\pi^\pm \rightarrow \mu^\pm + \nu$; $\mu^\pm \rightarrow e^\pm + 2\nu$ в электроны и нейтрино. Нейтральные π^0 -мезоны распадаются на пары γ -квантов. Следовательно, средняя энергия γ -квантов составляет ~ 180 Мэв. Спектр γ -квантов очень широкий, так как кинетическая энергия π^0 -мезона в среднем превосходит его энергию покоя; доплер-эффект очень велик.

Аннигиляция позитронов с электронами ведет к образованию γ -квантов. Число и спектр этих квантов зависят от состояния пары перед аннигиляцией. В ортосостоянии, когда спины электрона и позитрона параллельны и суммарный спин пары равен единице, при аннигиляции пары образуются при γ -кванта сплошного спектра с граничной энергией $\sim 0,5$ Мэв. В парасостоянии (суммарный спин нулевой) происходит двухквантовая аннигиляция и энергия каждого кванта близка к $0,511$ Мэв, так как кинетическая энергия пары перед аннигиляцией обычно мала.

Регистрация γ -квантов с энергией ≥ 100 Мэв от распада π^0 -мезонов или с энергией $\leq 0,511$ Мэв от аннигиляции электрон-позитронных пар, очевидно, позволяет обнаружить области аннигиляции антивещества и вещества, а при определении направления квантов найти и координаты источников излучения. Так как при прохождении через атмосферу те и другие кванты поглощаются или размножаются, то их регистрация должна проводиться практически за пределами атмосферы.

Опыты по изучению космических γ -лучей составляют предмет так называемой γ -астрономии [7] — новой области исследований, разрабатываемой в последние годы. Суть этих опытов состоит в регистрации γ -лучей при помощи γ -телескопов, устанавливаемых на спутниках, высотных стратостатах и тому подобных устройствах. Трудности γ -астрономических исследований связаны прежде всего с несовершенством γ -телескопов. Например, типичные γ -телескопы [8, 9] при рабочем сечении в $40\text{--}60$ см² имеют угол захвата около 30° и эффективность регистрации квантов с энергией > 50 Мэв около $10\text{--}20\%$. Эти γ -телескопы не вполне исключали возможность регистрации заряженных частиц, поток которых в несколько раз превосходит поток γ -квантов. Размещение телескопов на высотных приборах также связано с определенными трудностями, ограничивающими длительность экспозиции и управляемость наблюдениями. Полученные до сих пор результаты наблюдений, не вполне согласующиеся между собой [10], устанавливают некоторые предельные интенсивности потоков γ -лучей, усредненные по большим интервалам углов наблюдения. Хотя наблюдаемые потоки γ -квантов не очень велики, но они не противоречат существованию антивещества в Галактике. Указываемые в некоторых работах этого типа низкие пределы распространенности антивещества в Галактике основаны на предположении свободного прямолинейного движения частиц, а поэтому не справедливы. В некоторых направлениях замечен увеличенный поток γ -лучей.

По-видимому, разработка и усовершенствование методов γ -астрономии даст в будущем более определенные результаты. Однако трудности создания γ -телескопов с хорошей направленностью при достаточно большой светосиле, несомненно, довольно велики.

В связи с этим представляет интерес возможность использовать оптический метод обнаружения областей

аннигиляции. Суть его состоит в наблюдении света, испускаемого перед аннигиляцией, при помощи существующих телескопов наземных астрофизических обсерваторий. Дело в том, что до того, как пара частиц аннигилирует, она образует квазиатом, живущий достаточно долго и испускающий световые кванты, подобно обычному атому, переходящему из возбужденных состояний в более низкие.

Позитрон и электрон перед аннигиляцией с большой вероятностью образуют возбужденный атом позитрония. Аннигиляция позитрония происходит преимущественно в основном состоянии $1s$, поэтому число оптических квантов, испускаемых перед аннигиляцией, приблизительно такое же, как и число аннигиляционных квантов с энергией $\leq 0,5$ Мэв. Частоты квантов позитрония с большой точностью можно рассчитать по сериальным формулам, подобно тому как рассчитывается спектр атома водорода. Серия Лаймана позитрония лежит в ультрафиолетовой области длин волн $\lambda \leq 2430$ Å. Серия Бальмера занимает область, примыкающую к красной границе видимого спектра $7 \cdot 290 \text{ Å} < \lambda < 13 \cdot 422 \text{ Å}$. Для этой области спектра атмосфера Земли достаточно прозрачна, поэтому кванты серии Бальмера позитрония можно наблюдать при помощи обычного наземного телескопа.

Антипротон и протон перед аннигиляцией образуют атом, получивший название протония. Из-за большой массы нуклонов энергия основного терма-протония довольно велика — около $12,5$ кэв. Но при столкновении медленных антипротонов с атомами водорода велика вероятность образования протония в сильно возбужденных состояниях с орбитальным квантовым числом $l \approx 30$ и главным квантовым числом $n \gg l + 1$. В этих состояниях вероятность аннигиляции протония значительно меньше вероятности излучения, поэтому в условиях разреженной среды протоний будет испускать каскад квантов, спускаясь в более низкие состояния [11].

При $20 < n < 30$ спектр квантов протония, соответствующий переходам с $\Delta n \leq 2$, перекрывает видимую и инфракрасную области, т. е. так же, как спектр позитрония, легко проникает сквозь атмосферу Земли.

Телескопы астрофизических обсерваторий характеризуются довольно большой светосилой. Так, например, большой советский рефрактор имеет площадь объектива около $0,5 \cdot 10^5$ см², т. е. в несколько тысяч раз больше площади существующих γ -телескопов. Техника счета отдельных оптических квантов достаточно хорошо освоена. Длительность экспозиции наземного телескопа ограничивается только условиями фоновых излучений. С этой точки зрения оптические излучения позитрония и протония благоприятны потому, что они состоят из нескольких довольно резких оптических линий, занимающих различные области спектра. Расщепление линий позитрония не превосходит десятых долей ангстрема, а доплеровское расширение хотя и больше приблизительно в 30 раз, чем у водорода, но для температур межзвездного газа также невелико. Очевидно, что измерения температуры электрон-позитронного газа по доплеровской ширине линий принципиально более просты. Линии протония в области видимого спектра еще более дискретны и просты.

Строгая направленность луча зрения оптических телескопов благоприятна для поисков локальных источников излучения и определения их координат. Разработка оптического метода представляется заслуживающей серьезного внимания. В случае успеха она откроет новую интересную область астрофизики и, может быть, раньше других методов даст ответ на вопрос о существо-

вании космических антигравитации и симметрии Вселенной относительно вещества и антивещества.

Н. Власов

ЛИТЕРАТУРА

1. Д. А. Франк-Каменецкий. Докл. АН СССР, 143, 78 (1962); «Астрон. ж.», 40, 455 (1963).
2. P. Morrison. Amer. J. Phys., 26, 358 (1958).
3. Л. Шифф. Новейшие проблемы гравитации. М., Изд-во иностр. лит., 1961.
4. Н. Alfvén, O. Klein. Arkiv fys., 23, 187 (1963).

5. T. Burbidge, F. Hoyle. Nuovo Cimento, 4, 558 (1956).
6. Н. Л. Григоров и др. Искусственные спутники Земли. Вып. 10. М., Изд-во АН СССР, 1961, стр. 96.
7. P. Morrison. Nuovo cimento, 7, 858 (1958).
8. T. Cline. Phys. Rev. Letters, 7, 109 (1961).
9. W. Kraushaar, G. Clark. Phys. Rev. Letters, 8, 106 (1962).
10. J. Duthie et al. Phys. Rev. Letters, 10, 364 (1963).
11. H. Bethe, J. Hamilton. Nuovo cimento, 4, 1 (1956).

Реконструкция беватрона *

В середине февраля 1963 г. беватрон Радиационной лаборатории им. Лоуренса Калифорнийского университета (США) вступил в строй после реконструкции, для которой он был остановлен в июне 1962 г. Реконструкция беватрона, начавшаяся в 1960 г., финансировалась КАЭ и стоила 9,6 млн. долл., что приблизительно равно первоначальному капиталовложению. Эти вложения были направлены в первую очередь на увеличение интенсивности пучка и улучшение аппаратуры управления. Максимальная энергия машины осталась без изменений (6,2 Гэв), а интенсивность была повышена до $8 \cdot 10^{11}$ протонов/имп (в четыре раза больше, чем до остановки); в принципе она может быть поднята в 25 раз по сравнению с первоначальным уровнем.

Модификация машины включала в себя установку нового инжектора (линейный протонный ускоритель на 19,5 Мэв), установку новых полюсных обмоток, позволяющих проводить более точное управление пучком, улучшение системы внутренних мишеней, установку аппаратуры для отклонения выведенного протонного пучка вне камеры, ремонт ВЧ-системы и установку нового электронного оборудования, увеличение защиты и увеличение приблизительно на 500 м² полез-

ной площади экспериментального зала. Предусмотрена система проводки выведенного пучка. Ввиду того что имеется потенциальная возможность увеличения интенсивности пучка, машина была полностью закрыта бетонной защитой. Раньше бетонная защита была установлена только с внешней стороны беватрона и сверху машина не была защищена. К 4000 т бетона, использовавшегося ранее, было добавлено еще 13 000 т. Толщина защиты сейчас в основном равна 3 м и в неопасной зоне — 2 м.

В результате изменений возможно проводить одновременно три различных эксперимента, использующих первичный пучок. Будет получен относительно высокий выход положительных странных частиц. Например, интенсивность K^+ -частиц возрастет с 50 до 5000 или более в импульсе, что в свою очередь приведет к достаточному для исследований выходу третичных частиц (K^0). Возможно проводить исследования вторичных частиц при большей энергии; например, теперь генерируется столько же π -мезонов с энергией 4 Гэв, сколько раньше генерировалось с энергией 2 Гэв.

Б. Н. Яблоков

Применение радиоактивных изотопов и ядерных излучений в Азербайджанской ССР

В ноябре 1963 г. в Баку была проведена III Республиканская конференция по применению радиоактивных изотопов и ядерных излучений, в которой участвовало около 300 человек, заслушавших и обсудивших более 40 докладов, представленных различными научными и производственными организациями Республики.

В докладах освещены основные результаты научно-исследовательских работ по радиационной физике, физике полупроводников, геофизическим методам исследования скважин на нефтепромысловых и разведочных площадях, изучению действия изотопов и излучений на развитие различных сельскохозяйственных растений, а также результаты радиобиологических и медицинских научно-исследовательских работ.

Большой интерес вызвали работы по радиационно-термическому крекингу, проводимые в лаборатории радиационной химии Института нефтехимических про-

цессов АН Азерб. ССР. Эти исследования по получению новых полимеров и мономеров в результате воздействия ядерного излучения на различные виды нефтяного сырья представляют значительный научный и хозяйственный интерес.

Представители треста «Азнефтегеофизика» СНХ Азерб. ССР рассказали о применении радиоизотопов для изучения геологического разреза скважин, контроля технического состояния, а также о радиоизотопных приборах и защитных средствах, применяемых для этих целей.

Доклады, представленные сотрудниками сектора физиологии АН Азерб. ССР, содержали результаты исследования функциональной радиационной чувствительности центральной нервной системы. Функциональная радиационная чувствительность центральной нервной системы изучалась на примере ранних лучевых обменных реакций. Было установлено, что содержание углеводных компонентов крови является чрез-

* Physics Today, 16, No. 5, 90 (1963).