

теории появляются качественно иные понятия, по сравнению с всеобъемлющей точной теорией.

Эту глубокую мысль высказал В. А. Фок в замечательной статье «О значении приближенных методов в теоретической физике». Вот один из примеров, приведенных Фоком: в механике Ньютона есть понятие одновременности. В теории относительности оно исчезает. Значит, переход от теории относительности к рассмотрению движения с малыми скоростями ($v/c \ll 1$) и к механике Ньютона сопровождается *возрождением* понятия одновременности!

Точно так же низкоэнергетическая теория вводит важнейшие наглядные понятия: поле, частица, античастица и т. д. В полной теории этого нет — есть только очень абстрактные, очень трудные формулировки, из которых в принципе — но с большим трудом — можно все получить. Но нужно ли всегда так действовать?

Наш вывод: электродинамика и квантовая хромодинамика останутся навсегда — как осталась в машиностроении механика Ньютона.

Если бы не это глубокое убеждение, мы не стали бы писать книгу, лежащую перед Вами.

Частицы и Вселенная

Теоретическая физика связывает между собой свойства микромира, проявляющиеся на самых малых расстояниях, и свойства Вселенной — самого большого объекта исследования.

В микромире мы имеем дело с расстояниями от 10^{-33} см (планковская длина) до 10^{-13} см (размер ядра, размер протона) и 10^{-8} см (размер атома).

Во Вселенной наиболее далекие объекты находятся от нас на расстоянии порядка $20 \cdot 10^9$ световых лет, что равно $6 \cdot 10^9$ мегапарсеков и равно $2 \cdot 10^{28}$ см. Размеры отдельных галактик порядка 10^{23} см, астрономическая единица (а. е.) — так называется расстояние от Солнца до Земли — равна $1,5 \cdot 10^{13}$ см, диаметр Солнца $1,5 \cdot 10^{11}$ см.

Итак — совершенно несравнимые масштабы, тем не менее есть тесная связь между теорией частиц и космологией. И в последние годы, когда теория элементарных частиц вышла в своих предсказаниях да-

леко за пределы возможностей лабораторного опыта, эта связь приобретает особое значение.

Напомним некоторые основные положения современной космологии. Вселенная расширяется. Это означает, что в прошлом ее средняя плотность была больше. Вселенная наполнена однородным и изотропным электромагнитным излучением с температурой 3 К. Это очень низкая температура. Но в расширяющейся Вселенной такое излучение — остывший след горячих и плотных стадий расширения. И незыблем вывод современной космологии о том, что в прошлом Вселенной существовал период, когда вещество представляло собой горячую плазму, находившуюся в тепловом равновесии с излучением. Этот вывод составляет «жесткую сердцевину», проверенную в астрофизических наблюдениях.

Обращаясь вспять по времени, космология заглядывает в такие периоды эволюции Вселенной, когда при высокой плотности энергии вещества и излучения оказывались возможными любые маловероятные процессы превращения элементарных частиц, открывались каналы рождения самых тяжелых частиц. Процессы, недоступные исследованию в лабораторных установках, но уверенно предсказываемые для частиц сверхвысоких энергий, обретают реальность в далеком прошлом Вселенной, стоящем перед мысленным взором современной космологии. Космология может проводить мысленные эксперименты, анализировать, к каким следствиям для современной Вселенной приведет осуществление в ее далеком прошлом того или иного физического процесса, предсказываемого теорией и недоступного лабораторному опыту. Это превращает Вселенную в уникальную лабораторию элементарных частиц.

Ниже мы отнюдь не ставим своей целью подробно и последовательно рассказать о современной космологии. Такой теме посвящают отдельные монографии, больше всей нашей книги по объему. Мы выделим четыре вопроса. Все они в той или иной мере связаны с физикой, недоступной лабораторным исследованиям.

Их короткие названия:

- 1) скрытая масса;
- 2) асимметрия вещества и антивещества;

- 3) скалярное поле и инфляция;
- 4) космологическая постоянная.

Содержание этих вопросов будет расшифровано в ходе их обсуждения.

Первый и самый простой вопрос (не имеющий тем не менее простого ответа): чем заполнена Вселенная?

Мы знаем, что в каждом кубическом сантиметре Вселенной в среднем находятся 500 фотонов. Проследив эволюцию Вселенной от далекого прошлого, мы убеждаемся в том, что имеется примерно равное число (суммарное) нейтрино и антинейтрино всех сортов.

Средняя концентрация обычного вещества — протонов (свободных и в виде атомов водорода, и входящих в другие ядра) и нейтронов (в составе ядер) — около 10^{-7} см⁻³, т. е. одна штука в 10 м³.

Средняя плотность вещества при этом составляет около $10^{-30} \div 10^{-31}$ г/см³. Между тем, есть много аргументов, основанных на динамике галактик, скоплений галактик и других, которые указывают на гораздо более высокую общую плотность вещества.

Каков возможный выход из этого противоречия?

Один вариант состоит в предположении, что масса нейтрино в действительности не точно равна нулю.

Число нейтрино в единице объема так велико, что достаточно предположить $m_\nu = \frac{1}{20\,000} m_e$ *) (в энергетических единицах — 25 электронвольт), чтобы получить новую общую плотность.

При бета-распаде образуются нейтрино с энергией в сотни тысяч и миллионы электронвольт. Поэтому малая собственная масса («масса покоя») не изменит спектр бета-распада. Только при распаде трития можно в принципе наблюдать малое изменение спектра (рис. 36). Группа московских физиков утверждает, что такое изменение спектра наблюдается. Для окончательного суждения нужно подождать подтверждения другими экспериментальными группами.

Однако в настоящее время кажется весьма вероятным, что набор элементарных частиц отнюдь не ограничивается теми частицами, существование которых доказано на опыте. Возможно, что есть совсем иной класс частиц, практически не взаимодействующих

*) m_e — масса электрона, равная $9 \cdot 10^{-28}$ г.

щих с известными нам частицами. Точнее, эти новые частицы не взаимодействуют ни электромагнитно, ни сильно, ни слабо. Однако они имеют определенную энергию и поэтому взаимодействуют с нашим миром гравитационно. Мы уже говорили о слабости гравитационного взаимодействия на уровне элементарных частиц. Поэтому открыть и исследовать эти частицы в лаборатории будет необычайно трудно.

Тем не менее, не исключено — а, скорее, даже вероятно — что именно эти неизвестные нам частицы составляют 80 или 90 % общей массы в каждом достаточно большом объеме, произвольно выбранном во Вселенной. При образовании галактик и звезд большая плотность достигается благодаря тому, что нагретый газ отдает энергию излучением. Неизвестные частицы или вовсе не излучают, или излучают другие, неизвестные нам подобия фотонов. Поэтому в составе звезд нельзя ожидать сколько-нибудь заметного количества неизвестных частиц — они пролетают сквозь звезду без столкновений и без торможения.

Обратимся теперь ко второму вопросу.

Барийонная асимметрия

Естественно предположить, что в начале расширения линейные размеры Вселенной a_0 были порядка планковских (10^{-33} см), и плотность вещества была порядка планковской (10^{93} г/см³). Тогда и масса всего вещества была порядка планковской, 10^{-5} г. Если даже это вещество состояло целиком из покоящихся нуклонов, общее число их было ничтожно, порядка 10^{19} штук. Еще меньшее число получится, если учесть принцип Паули и движение нуклонов.

В настоящее время нет никаких оснований думать, что где-то существуют антигалактики. Они проявля-

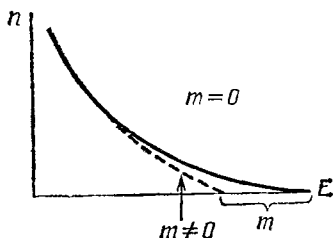


Рис. 36. Случай нулевой (сплошная линия) и ненулевой (штриховая линия) массы нейтрино отличаются формой бета-спектра вблизи его верхней границы и величиной максимальной энергии электронов, т. е. величиной верхней границы бета-спектра