

ФИЗИКА НАШИХ ДНЕЙ

БУДУЩЕЕ НАУКИ

539.12(023)

(Ускорители элементарных частиц следующих поколений)

М. А. Марков

В свете прогнозов научного развития физики высоких энергий выясняется, что особое и фундаментальное значение для дальнейших исследований свойств материи будет иметь ускоритель, который в системе центра тяжести сталкивающихся частиц характеризуется энергией $E \geq 300$ Гэв,— так называемый «ускоритель унитарного предела».

ВВЕДЕНИЕ

В этой статье речь будет идти в основном о будущем физики высоких энергий. Близкое и отдаленное будущее физики высоких энергий широко обсуждалось на протяжении последнего десятилетия; особенно интенсивно шли обсуждения, когда проектировалось строительство ускорителя в Батавии. Итоги этого обсуждения подведены в сборнике «Природа материи. Цели физики высоких энергий»¹. Материалы сборника были переведены и опубликованы в УФН² с добавлением ряда статей советских авторов.

Но теперь, когда строительство ускорителя в Батавии успешно завершается и начинается его эксплуатация, естественно и своевременно возникает проблема следующего поколения ускорителей на более высокие энергии. Естественно — с точки зрения прогнозирования тенденции в развитии науки вообще и своевременно — по характеру объекта прогнозирования в частности. Действительно, в предисловии к одному из документов, относящихся к проектированию европейского ускорителя на 300 Гэв в ЦЕРН, Б. Грегори (в то время директор ЦЕРН) писал: «Я должен указать на одно различие между физикой высоких энергий и многими областями науки. Неизбежно большие размеры установки вынуждают нас вести планирование лет на пятнадцать вперед»³. Таким образом, речь будет идти о следующем поколении ускорителей и, в сущности, для следующего поколения физиков. В настоящее время будущее физики высоких энергий нельзя рассматривать вне связи с будущим физики и даже шире — науки вообще. За два истекших десятилетия больших успехов достигли различные разделы физики, астрофизики, биологии и других наук. И будущее, часто большое перспективное будущее этих разделов науки, привлекает внимание научной общественности и вызывает известную заботу и опасения о перспективах их материального обеспечения.

В последние годы появился ряд статей о будущем науки, в которых так или иначе затрагивается и будущее физики высоких энергий. Так, под таким названием в 1970 г. появляется известная статья Ф. Дэйсона⁴. В 1971 г. печатается в УФН интересная по обширному фактическому

содержанию и постановкам вопросов статья В. Л. Гинзбурга ⁵, а в 1972 г. в журнале «Природа» появляется статья Л. А. Арцимовича ⁶, в которой акцентируется внимание на преимущественное развитие астрофизики. Обращают на себя внимание статьи ^{7, 8}, опубликованные в журнале «New Scientist» в 1971 г. Одна из них — это панегирик заканчивающемуся строительству синхротрона на 500 Гэв в Батавии и предстоящей программе научных исследований, а другая ⁸ — «Нужны ли большие машины?» — относится к статье предыдущей, как (пусть простят мне это сравнение) античастица относится к частице. Здесь знаки многих утверждений предыдущей статьи меняются на обратные.

Во всех этих статьях делается попытка разобраться в том, какие изменения произошли в физике, в естественных науках вообще за последние годы, какое место занимает в науке в настоящее время физика высоких энергий и что можно сказать о перспективах науки ближайших десятилетий.

В десятилетиях, близких к первой половине текущего столетия, крупнейшими достижениями отмечено развитие микрофизики. Бурное развитие атомной и ядерной физики тех десятилетий сопровождалось фундаментальными открытиями. Огромное влияние этих открытий на экономику, политику и межгосударственные отношения привело к своеобразному элитизму ядерной физики и физики элементарных частиц. Представители других научных областей — физики твердого тела, химии, биологии и т. д., — пораженные успехами этой научной области и значением этих успехов не только в науке, но и в социальной жизни планеты ⁹, безропотно признавали этот элитизм.

Со временем существенные успехи пришли и в другие области науки. Меняется научное общественное мнение об иерархии различных научных направлений. Ситуация имеет и чисто прозаическую сторону. Исследования в физике высоких энергий становятся очень дорогими, дорогими оказываются строящиеся ускорители. Еще более дорогими окажутся ускорители будущих поколений. И в этой связи обсуждаются ценности получаемых на ускорителях результатов. Иногда между строк можно усмотреть вопрос: а стоит ли игра свеч?

Мне не хотелось бы идти по пути общих рассуждений — нужны или не нужны ускорители на сверхвысокие энергии вообще («на все времена и народы»). Хотелось бы ограничиться частным конкретным обсуждением вопроса: нужны ли ускорители следующего поколения, именно — после тех ускорителей, которые только вступили или вступают в эксплуатацию? Здесь имеются в виду как ускоритель традиционного типа в Батавии, так и протонный ускоритель на встречных пучках в ЦЕРН.

Хотелось бы провести обсуждение, учитывая как оптимистические, так и пессимистические соображения в цитированных выше статьях; провести это обсуждение, имея в виду и развитие науки вообще, с учетом того, как оно прогнозируется, в частности, в цитированных статьях, «отжав» из этих статей все, что не относится к нашей проблеме непосредственно, но иногда создает «фон», ненужно усложняющий задачу.

Начнем со статьи Ф. Дайсона ⁴. Статья Дайсона «Будущее науки» во многих отношениях любопытна. Статья начинается с воспоминаний о ситуации в Кавендишской лаборатории, которая возникла после смерти Эрнеста Резерфорда:

«К ужасу всех тех, кто еще остался в Кембридже, Брэгг (новый директор лаборатории. — М. М.) не предпринимал ни малейших усилий, чтобы восстановить былую славу Кембриджа. Он не очень интересовался постройкой новых ускорителей... и любил повторять: „Мы здорово обучили

мир, как надо заниматься ядерной физикой. Давайте теперь покажем им, как нужно заниматься чем-то новеньким».

И это «новенькое», как известно, возникло в виде научных направлений в радиоастрономии и молекулярной биологии, развитие которых сопровождалось действительно фундаментальными открытиями. Анализируя причины успеха Брэгга как руководителя Кавендишской лаборатории, Дайсон формулирует «три правила запрета», которые, по мнению Дайсона, помогли Брэггу в этой ситуации, сложившейся в Кембридже в конце 30-х годов. «...Я убежден в том, — пишет Дайсон, — что из этой истории для нас вытекают сегодня (т. е. для обсуждения физики будущего. — М. М.) весьма важные выводы».

Эти правила звучат почти как религиозные заповеди, носят характер категорического императива *).

Прежде всего хотелось бы понять, могут ли эти выводы, эти правила действительно пригодиться в нашей ситуации.

«Не следует пытаться возрождать былую славу». Но это вопрос конкретной обстановки, конкретных условий и возможностей. Может быть, не следует, а может быть, иногда следует. Может быть, не так уж неправы те, которые упрекали Брэгга в отсутствии желания «возродить былую славу Кембриджа», продолжать исследования в области ядерной физики. Это не значит, что не надо было развивать новые направления — радиоастрономию, молекулярную биологию. Но, может быть, это надо было (или лучше было бы) делать где-то в другом месте — не в ущерб ядерной физике.

Хорошо, что в Беркли возник такой центр исследований, который в известном смысле принял эстафету кембриджских исследований структуры материи и элементарных частиц.

«Не следует пытаться возрождать былую славу». Это отнюдь не заповедь, это лишь одно из альтернативных предложений при обсуждении судьбы того или иного научного института. Каждый научный институт имеет свой юный, зрелый возраст и возраст преклонный. 15—20 лет обычно отпускает время на цикл развития института. А затем институт либо возрождается, либо погружается в небытие, либо возникает в совершенно ином виде. Нет, это правило нам не поможет. Но правило это цитируется в литературе, создавая тот излишний «фон шумов», от которого желательно освободиться.

И вопрос о «моде» совсем не так прост. Каждая конкретная мода сначала возникает, так сказать, как «антимода» — новая мода в противовес существующей. Как правило, научной модой становится то направление, которое кажется чем-то обещающим. К кому же обращена эта вторая заповедь?

Мода, как правило, привлекает людей в массе своей не всегда очень творческих, т. е. людей, которые сами, как правило, не создают моду. Но люди эти, часто очень энергичные и результативные в своих практических действиях, и в теории обладают нередко большими формальными способностями, что дает им возможность быстро и эффективно «в рамках моды» получать результаты, испытав моду «на прочность», и, может быть, таким образом исчерпать, а возможно, и закрыть моду.

В научном мире такая разновидность исследователей есть, она *нужна*, она *неизбежна* в экологии, если можно так сказать, научного творчества так же, как нужно разнообразие живых организмов в экологическом равновесии сущего на Земле.

*) а) Не следует пытаться возрождать былую славу.

б) Не следует заниматься чем-то только потому, что оно самое модное.

в) Не следует обращать внимание на насмешки и высокомерие теоретиков⁴.

«Не следует обращать внимание на насмешки и высокомерие теоретиков». Почему только теоретиков? Напомним известную цитату: «Всякий, кто ожидает получения энергии в результате трансформации атомов, говорит вздор». Это ведь из речи Э. Резерфорда на съезде Британской ассоциации содействия развитию науки 11 сентября 1933 г.

Обсуждаемый вопрос относится опять к той же экологии научного творчества или даже экологии научной среды. Многие, не только теоретики, способны вылить ушат холодной воды на горячие головы энтузиастов. Очень часто это люди очень квалифицированные, с большой эрудицией и кругозором. Они в первую очередь умеют видеть трудности, которые в силу привычного, по-своему логического мышления кажутся непреодолимыми.

Кажется, Форд где-то писал, что, если бы он хотел сделать неприятность своим конкурентам, он посоветовал бы им набрать большое число высококвалифицированных инженеров, каждому из которых с самого начала казалась бы ясной невозможность любого нового предложения. Если такого высказывания у Форда не было, то его следовало бы выдумать. Но, с другой стороны, критицизм необходим в экологии науки. Волки, как известно, приносят большую пользу, уничтожая слабых животных. Конечно, иногда в беду попадают сильные, здоровые. Это трагедия отдельного индивидуума. Экологическое равновесие мудро устанавливается самим собой не только во флоре и фауне.

Поэтому, если совет Дайсона относится к новаторам науки, сильным духом и мыслью, он им не нужен. Если он обращается к огромному большинству «изобретателей» в кавычках, он не идет на пользу науке. Но, отбросив в сторону эти не прямо относящиеся к делу страницы статьи Дайсона, мы встречаемся в ней с двумя высказываниями, которые следует вставить в список конкретных вопросов, подлежащих дальнейшему обсуждению.

Во-первых, представляет интерес оценка Дайсоном предстоящей экспериментальной ситуации, могущей возникнуть на ускорителе в Батавии. Оценка эта очень богата различными («по знаку») оттенками. Дайсон пишет: «Грубо говоря, весь эффект от грандиозных денежных затрат и немалых человеческих усилий в Батавии сводится к тому, чтобы подвинуть область энергий, доступных физике, вверх на одну степень десятки от десятков Гэв, которыми мы обладали в 1970 г.

Мы все искренне надеемся, что природа предложит нам новые очень важные явления, которые мы сможем обнаружить, продвинувшись именно на эту степень десятки. Если выяснится, что природа именно так и поступила, то усилия, которые были затрачены на строительство ускорителя, окажутся вполне оправданными. Если же окажется, что именно в этом новом доступном интервале энергий нет никаких фундаментально новых явлений, построенная машина окажется просто монументальной безделушкой»⁴. Отношение Дайсона к созданию рекордного по энергии ускорителя в Батавии грамматически выражается условными предложениями «если...». В строго логическом построении грамматических фраз нельзя отказать автору. Но строительный материал для этих фраз взят столь скупо, что он не только не характеризует обсуждаемую ситуацию, а существенно ее деформирует. Конечно, верно и то, что другие ускорители, как, например, бэватрон в Беркли, строились в свое время более целенаправленно; бэватрон, в частности, строился прямо для подтверждения (или опровержения) существования антипротонов. И выполнение этой задачи а priori оправдывало строительство бэватрона, а открывателям эффекта рождения протон-антипротонных пар — присуждение Нобелевской премии.

Предельная же энергия машины в Батавии не определялась какой-либо одной подобного рода фундаментальной задачей. Но была сформулирована обширная программа, которая в общем направлена к заполнению «белых пятен» в картине физических явлений в этой области энергий.

Этот интервал энергий в физических исследованиях должен быть пройден — это такая же историческая необходимость в развитии науки, как в былое время исследование «белых пятен» на географической карте Земли; оно должно иметь и имеет своих энтузиастов, героев, а может быть, и мучеников.

Дайсон полностью игнорирует обширную и существенную по тематике программу исследований, разработанную большим коллективом физиков. Кстати говоря, эта программа с течением времени постепенно расширяется, становится все более интересной и значительной. Здесь имеется в виду, в частности, ситуация с множественным рождением частиц, масштабной инвариантностью, вообще с кругом вопросов, возникшим в то время, когда строительство ускорителя уже близилось к завершению; этот круг вопросов, естественно, не входил в число аргументов, обосновавших необходимость строительства ускорителя.

Далее Дайсон противопоставил возможности экспериментов в космических лучах экспериментам на ускорителях. Обсуждение этих вопросов мы продолжим в дальнейшем в числе других вопросов, поставленных в статьях, о которых шла речь выше.

Основа основ всего написанного в статье Ф. Андерсона⁸ заключена в следующей фразе: «Ученые начали понимать, что пирог конечен и все, что „про“ физики высоких энергий, — это „contra“ чему-то другому... Любое обсуждение предмета должно исходить из того факта, что физика высоких энергий страшно дорога». То, что физика высоких энергий дорога, — нет сомнений. Более того, любая наука дорожает, и это обстоятельство мы обсудим отдельно как *«удорожание науки»*. Но прежде хотелось бы из статьи Андерсона «отжать» положения, которые, как и в статье Дайсона, образуют «фоновый туман» вокруг реальных проблем, подлежащих обсуждению.

Сюда следует отнести рассуждения автора о стратегии науки. Автор стремится убедить читателя, что не накопление новых фактов, а новые концепции, новые точки зрения совершают революционные изменения в науке. Видимо, автор, исходя из общих концепций, хотел бы рекомендовать физике высоких энергий не накапливать новые факты (к тому же это дорого), а мыслить больше концептуально. Совсем не надо доказывать и убеждать, что революционное изменение в науке обычно связано с новыми концепциями. Но может ли автор указать тот момент, когда фактов становится достаточно для появления новых концепций, новых точек зрения?

Другое дело — конкретное утверждение автора о том, что темп возникновения новых открытий в физике высоких энергий с ростом энергий входящих в эксплуатацию ускорителей радикально замедляется. Автор употребляет даже термин «кризис ситуации» в физике высоких энергий. Это утверждение автора уже требует обсуждения. Итак, о «*кризисе ситуации*» в физике высоких энергий или «*законе убывающего плодородия*», что ли, ускорителей на высокие энергии.

В конце концов, совет Андерсона — это замедлить не только экспериментальные, но и теоретические исследования в области физики высоких энергий. Особенно странно звучат советы Андерсона замедлить теоретические исследования. Боясь исказить мысли автора, придать им еще более неприглядный оттенок, лучше привести этот совет в

подлиннике: «I do not advocate abandoning high-energy theory, just slowing it down in favour a broader attack on the genuine problems we already have». Другими словами, проблемы физики высоких энергий не являются «the genuine problems», т. е. не являются «подлинными», «истинными» проблемами. Комментарии здесь только способны ослабить впечатление от высказанной автором мысли. Мы еще вернемся к этому оригинальному совету.

Андерсон ищет логическое обоснование своим рекомендациям, в частности, в обсуждаемом им положении об отсутствии иерархичности в науке, в его тезисе об автономности наук («the sciences are autonomous»). Развивая этот тезис, Андерсон полемизирует с высказываниями В. Вайскопфа о фундаментальном характере («интенсивном» в терминологии Вайскопфа) «субъядерной» физики. В дальнейшем мы подробнее остановимся на тезисе Андерсона об автономности наук в свете той своеобразной роли, которую играет физика высоких энергий в семействе наук своим прямым и косвенным влиянием.

Далее следует пополнить список дискутируемых вопросов теми вопросами, которые возникают при чтении статьи В. Л. Гинзбурга⁵. Следуя В. Л. Гинзбургу, мы будем говорить о микрофизике как области, включающей в себя проблемы физики высоких энергий и даже, несколько шире, — проблемы «субъядерной» физики.

Микрофизика для своих исследований использует не только технику высоких энергий. В физике и микрофизике есть два направления развития, которые дополняют друг друга. Это — физика высоких энергий, с одной стороны, и физика пучков частиц относительно низких энергий, но высоких интенсивностей, с другой. Эти направления исследований в некоторой области конкурируют между собой. Так, специфические особенности эффектов, которые характерны для области высоких энергий, при низких энергиях проявляются слабо. Но слабые проявления этих эффектов (малые сечения) могут быть, однако, детектированы в пучках частиц очень высокой интенсивности.

В физике высоких интенсивностей проявляются и свои специфические закономерности явлений. По предельным энергиям индивидуальных частиц физика высоких интенсивностей может на много порядков отставать от физики высоких энергий. Типичными представителями физики высоких интенсивностей является физика лазерных пучков, физика высокоинтенсивных электронных ускорителей в мегаэлектрон-вольтном диапазоне энергий и так называемые мезонные фабрики.

Любопытные примеры физики высоких интенсивностей представляют собой лазерные пучки фотонов. Лазерные лучи возникли не в ускорительной технике, не в физике высоких энергий, возникли не для нужд ядерной физики и элементарных частиц. Но повышение интенсивности в лазерном луче расширяет применение лазерного луча до проблем управляемых термоядерных реакций и даже физики элементарных частиц. При больших интенсивностях лазерный луч и луч ускоренных электронов, например, во многих отношениях аналогичны. Эти столь различные по природе лучи оказываются способными конкурировать друг с другом в возможностях различных применений^{*}). Конкуренция возможна, в частности, и в применении к проблемам управляемых термоядерных реакций. Как мощный лазерный луч, так и сфокусированный пучок, например, электронов могут являться источниками вторичных пучков высокой интенсивности, например нейтронов, источниками заряженных частиц высоких энергий —

^{*}) При очень интенсивных потоках любых частиц (фотонов, нейтронов, электронов, протонов и т. д.) общим для них является способность передавать малому объему вещества (в пределе — паре или даже одной частице) огромные порции энергии.

здесь имеется в виду рождение пар частиц и античастиц в интенсивных лазерных лучах¹⁰ и ускорение, например, протонов потоками электронов, в частности, в установках типа «смокотрон». В отличие от физики высоких энергий, лазерные лучи, высокопоточные электронные, протонные ускорители — мезонные фабрики — имеют почти беспредельные возможности практических применений в технике, в медицине, в народном хозяйстве.

Поэтому целесообразно, чтобы в физике высоких интенсивностей существенную часть финансирования брали на себя различные министерства. Физика высоких энергий также возвращает с большими процентами народному хозяйству потраченные на нее денежные средства, но не всегда (как мы увидим ниже) непосредственным образом и, как правило, не быстро. Физика высоких энергий нуждается в долговременном «займе», но под большие «проценты».

Одна из закономерностей здесь такова, что ускорительные установки, построенные для исследований в области ядерной физики и элементарных частиц, начинают со временем использоваться все больше и больше для нужд смежных наук: физики твердого тела, химии, биологии, геологии, экологии и т. д. — и в меньшей степени для нужд самой физики элементарных частиц. А для нужд физики элементарных частиц строится очередной ускоритель на большую энергию. Есть известие, например, что один из самых больших в мире циклических электронных ускорителей (CEA, США) целиком переводится на использование его синхротронного излучения в различных приложениях. Как известно, на ускорителе DESY (ФРГ) также широко используются каналы синхротронного излучения.

Последние замечания вносят существенную поправку в тезис Андерсона «все, что „pro“ физики высоких энергий, — это „contra“ чему-то другому».

В статье Гинзбурга *) сделана попытка ответить на вопрос: «Какие проблемы физики и астрофизики представляются сейчас особенно важными и интересными?» Автор приводит около двадцати проблем из различных областей физики, которые действительно представляют значительный интерес. Но особое внимание привлекает тот раздел статьи, который озаглавлен «О микрофизике вчера, сегодня и завтра». Автор статьи многократно извиняется за неизбежную субъективность высказываний, делает массу оговорок, смягчая формулировки, боясь прослыть «врагом» микрофизики; он многократно подчеркивает авангардную роль микрофизики в науке, желает ей всяческих успехов, в частности в строительстве новых ускорителей.

Но для целей нашего обсуждения целесообразно отбросить полутона, чтобы контуры вопросов, поставленные статьей Гинзбурга, проступили яснее, хотя мы, таким образом, выходим за рамки цитируемой статьи. Дело в том, что вопросы эти действительно существуют, они фигурируют «на улице» общественного мнения. Почему, действительно, не принято говорить о них открыто в «нашем доме» — на страницах физических журналов? «Сегодня» по сравнению с «вчера», «согласно защищаемому здесь мнению, — пишет автор, — место микрофизики и в физике, и во всем естествознании радикально изменилось».

Эти изменения автор видит и в снижении удельного веса проблем микрофизики в физических журналах, и в снижении интереса к микрофизике со стороны нового поколения, идущего в науку. Причину этих изменений автор находит в том, что до середины нашего века вопросы микрофизики «имели определяющее, по существу, значение для развития

*) Заметим, что статья⁵ была недавно переработана и расширена ее автором (она печатается отдельной брошюрой под названием «О физике и астрофизике» в изд-ве «Наука»); мы цитируем статью⁵, так как пока именно она известна читателю.

всего естествознания». Объекты, изучаемые микрофизикой (атом, атомное ядро), «были хлебом насущным». Разгадать строение атома, понять действующие в нем законы (для этого пришлось открыть квантовую механику!) значило дать мощнейший толчок многим областям физики, астрономии, химии, биологии. «Примерно то же можно сказать об атомном ядре — его изучение породило возможность использования ядерной (атомной) энергии и даже дало известные основания называть XX век атомным веком».

Это было вчера. Но что же сегодня? Сегодня изменился объект микрофизики: «Исследуемые микрофизикой частицы либо живут ничтожные доли секунды, либо, как в случае нейтрино, почти свободно пронизывают земной шар и улавливаются лишь с колоссальным трудом». В общем новые объекты микрофизики — это экзотические и редкие растения».

Изменился объект микрофизики, изменилось значение объекта микрофизики для других наук, изменилось, так сказать, и «социальное» положение микрофизики, и ее авторитет у молодого поколения. Итак, среди вопросов, поставленных статьей Гинзбурга, целесообразно обсудить вопрос и в такой формулировке: *«Экзотичность» объекта микрофизики и значимость ее сегодня для других наук*. А завтра? А завтра — предположение (которое я не боюсь высказать), что самый блистательный в каком-то смысле период в жизни микрофизики уже позади. Не все ведь обязаны верить в существование «бесконечной матрешки» — открыли одну куклу, а в ней лежит другая — и так без конца.

Таким образом, в нашем списке возникает новый вопрос: действительно ли есть *основание полагать*, что самый блистательный период *) в жизни микрофизики уже позади и что раскрыта последняя «матрешка»?

Правда, «характер задач, стоящих перед микрофизикой сегодня, ни в коей мере не уступает по своей жгучей таинственности и трудности проблемам ее вчерашнего дня. Иными словами, микрофизика, конечно, осталась... аванпостом физики, ее самой передовой и глубокой частью». Жаль, что в статье остался неразвитым последний тезис. Одна из основных задач дальнейшего обсуждения — раскрыть, насколько можно, в полной мере возможное содержимое этого тезиса. Именно почему и в каком смысле можно считать, что микрофизика осталась *«аванпостом физики, ее самой передовой и глубокой частью»*?

Теперь, после несколько затянувшегося введения, настало время обратиться к рассмотрению ситуации в микрофизике непосредственно.

ВЧЕРА, СЕГОДНЯ И ЗАВТРА МИКРОФИЗИКИ

Очень поучительно рассматривать исторический процесс развития физики, нарисованный очень крупными мазками, — картину исторического процесса, так сказать, «с высоты птичьего полета». При таком рассмотрении отчетливо выступает любопытная черта этого процесса, именно своеобразная иерархия закономерностей, господствующих в мире физических явлений при продвижении физических исследований ко все меньшим и меньшим пространственно-временным областям, в которых разыгрываются исследуемые процессы. В этом историческом процессе перед физиками каждый раз раскрывались новые миры физических явлений со своими специфическими закономерностями, когда физики переходили

*) Говоря о блистательном периоде в жизни микрофизики, Гинзбург имеет в виду главным образом ее приложения, атомную энергетику, ее социальную значимость. Здесь мы должны извиниться за некоторую «неточность» в изложении точки зрения автора. Но с подобными высказываниями приходится встречаться, и обсудить их целесообразно.

к изучению явлений в областях по своим размерам на 2—3 порядка меньших.

а) Иерархия длин — иерархия закономерностей. В физике существует исторически оправданная тенденция исследовать явления в областях все меньших и меньших размеров. На различных рубежах длин в изученном пока интервале от 10^{-5} до 10^{-15} см открывались неизвестные до тех пор новые миры физических явлений. Так, в областях с размерами 10^{-5} — 10^{-7} см был открыт мир молекулярной физики, возникла кинетическая теория материи. В областях с размерами, на порядок-два меньшими, — 10^{-8} см ($\hbar^2/mc^2$) — открылся мир атомных явлений и возникла квантовая теория. Исследования в областях $\sim 10^{-11}$ см ($\hbar/mc$) привели к новому неожиданному кругу явлений, связанному с возможностью рождения электрон-позитронных пар, возник круг явлений, описываемый релятивистской квантовой теорией Дирака. В областях $\sim 10^{-13}$ см открылся мир физики атомного ядра. В областях $\sim 10^{-14}$ см открылась физика адронов, физика странных частиц, мир возбужденных состояний адронов.

В настоящее время физические исследования продвигаются в область длин меньше 10^{-15} см. Эта иерархия длин и открывшихся на этих длинах миров физических явлений ясна из таблицы.

Иерархия длин — иерархия закономерностей

l , см	Мир физических явлений	Энергия ускоренных частиц
10^{-6} — 10^{-7}	Мир молекулярной физики	~ 1 эв
10^{-8}	Мир атомных явлений; атомные спектры	~ 10 эв
10^{-11}	Открытие рождения e^+ , e^- -пар; квантовая теория Дирака	~ 1 — 10 Мэв
10^{-13}	Физика атомного ядра	~ 100 — 1000 Мэв
10^{-14} — 10^{-15}	Мир странных частиц	~ 10 — 100 Гэв
10^{-17}	(Раскрытие природы слабых взаимодействий)	$10\,000$ Гэв в лаб. системе ~ 100 Гэв в СЦИ
10^{-33}	...	10^{19} Гэв

Как видно из таблицы, историческая закономерность пока действительно такова, что проникновение в области физических явлений, на два-три порядка меньшие по своим размерам, вело к открытию нового мира физических явлений. Пока строение материи, образно говоря, действительно иллюстрируется известной игрушкой — «матрешкой». Можно, конечно, задать вопрос: сколько вложений содержит реальная «игрушка» — материя? Или этот процесс раскрытия «матрешки» бесконечен?

Конечно, в такой общей форме вопрос остается без ответа *). Но вполне уместно спросить, действительно ли можно утверждать, что физикой уже раскрыта последняя «матрешка», или, конкретнее, — можно ли ожидать существенно новой физики, когда в нашем распоряжении окажутся длины (параметры ударов), еще на два порядка меньшие. Другими словами, что ожидает физиков на длинах порядка 10^{-17} см? Энергетически это значит, что речь идет об ускорителях с энергией ~ 300 Гэв в СЦИ.

*) Более детальное обсуждение проблемы содержится в статье автора «О понятии первоматерии» (Вопросы философии, № 4, 66 (1970)).

Если анализировать таблицу последовательности длин и закономерностей, то следовало бы сказать, что наиболее важными и интересными результатами оказываются неожиданные и непредсказанные результаты на новых этапах физических исследований. Действительность, как правило, оказывается фантастичнее любой необузданной фантазии.

В этом стремлении к физике меньших длин — к физике более высоких энергий — нельзя недооценивать большую манящую силу (пока исторически оправдывавшихся) надежд на встречу с чем-то совсем новым. Однако мы не будем акцентировать внимание на этом, может быть, чисто психологическом факторе, хотя отвлечься от него тоже невозможно. Но в данном случае на рубеже предстоящих длин, именно длин порядка 10^{-17} см, можно уверенно говорить о большом ожидаемом прогрессе в наших знаниях. Дело в том, что именно этот рубеж длин, как рубеж длин, имеющих фундаментальное значение, уже органически содержится в современной теории слабых взаимодействий. Размерная константа, определяющая слабые взаимодействия, характеризуется квадратом длины l^2 , где l как раз близка к 10^{-17} см. Во всяком случае, мы можем с уверенностью сказать, что на этих длинах получим ответ на один из наиболее интригующих вопросов современной физики, именно: *какова природа слабых взаимодействий?* В чем же заключается нераскрытая пока тайна слабых взаимодействий?

Как известно, сечения слабых взаимодействий растут с ростом энергии взаимодействующих частиц. Константа слабых взаимодействий мала, поэтому в слабых взаимодействиях используется аппарат теории возмущений — разложение по параметру слабого взаимодействия. Так как сечения растут с ростом энергии взаимодействующих частиц, оказывается, что при больших энергиях, несмотря на малость константы взаимодействия, следующие, высшие, приближения теории становятся сравнимыми или даже больше приближений низших. Другого же аппарата, отличного от теории возмущений, в нашем распоряжении пока нет. Попытки построить более совершенный формализм для вычислений сечений слабых взаимодействий встречаются с фундаментальной трудностью в теории слабых взаимодействий, связанной с наличием расходящихся величин, которые не удается устранить теми способами (т. е. перенормировками), которые оказались эффективными в электродинамике.

В общем, мы не знаем, как ведут себя слабые взаимодействия при параметрах столкновений, близких к длине, характеризующей слабые взаимодействия, — той длине $\sim 10^{-17}$ см, о которой шла речь выше, или при энергиях, близких к 300 Гэв в СЦИ. Другими словами, у нас есть реальная фундаментальная задача для ускорителей с энергией ~ 300 Гэв в СЦИ. Такой ускоритель (~ 300 Гэв в СЦИ) мы в дальнейшем будем называть кратко ускорителем унитарного предела *). Есть основания полагать, что эта проблема может быть связана с другой проблемой слабых взаимодействий. А именно, со времен Ферми (1934 г.) теория слабых взаимодействий формулируется как взаимодействие четырехчастичное: при β -распаде нейтрон распадается на протон, электрон и антинейтрино. Все другие известные в природе взаимодействия — это взаимодействия исключительно трехчастичные. Так, нейтрон, испуская π -мезон, превращается сильными взаимодействиями в протон, и т. д.

*) В теории возмущений предполагается, что по причине слабости взаимодействий начальное состояние системы не меняется, другими словами — унитарность учитывается с точностью до следующего приближения. Унитарность предельно максимально нарушается, если следующее приближение оказывается равным или большим предыдущего.

Около тридцати лет существует тенденция свести четырехчастичные слабые взаимодействия к трехчастичному. Этого можно достичь, предполагая, что наблюдаемое слабое взаимодействие на самом деле осуществляется в два этапа. Вначале нейтрон переходит в протон, испуская некоторую гипотетическую частицу W -мезон (трехчастичное взаимодействие), а этот, так называемый промежуточный, W -мезон распадается затем на электрон и антинейтрино (второе трехчастичное взаимодействие).

Идея унификации типов взаимодействий настолько привлекательна, что на всех ускорителях, во всех новых диапазонах энергий снова и снова ставятся эксперименты по поиску промежуточного W -мезона. В настоящее время на действующих ускорителях W -мезон пока не обнаружен.

Нижний предел массы промежуточного W -мезона пока лежит в области 2—5 $Gэв$. Энергия 300 $Gэв$ в СЦИ (ускоритель унитарного предела) — это та предельная энергия, до которой имеет смысл идея промежуточного мезона и его экспериментальные поиски. И в этом смысле на ускорителе унитарного предела теория слабых взаимодействий подвергается решающему испытанию. В дальнейшем мы расширим обсуждение различных аспектов предстоящего этапа микрофизики в эпоху появления экспериментальных возможностей ускорителя унитарного предела.

б) Есть ли основания полагать, что «самый блистательный период в жизни микрофизики позади»? Каскад поразительных открытий новых закономерностей микромира 20—30-х годов, многообразия элементарных частиц и их свойств в последующих десятилетиях — все это в каком-то смысле «развернуло» наше восприятие и оценку быстроты научного прогресса. Ожидание новых научных открытий стало несколько нетерпеливым. Появились упреки, даже известное недовольство темпами новых открытий. Делается попытка установить чуть ли не «закон природы», согласно которому с вводом ускорителей на более высокие энергии «темпы новых открытий в этих новых энергетических областях радикально замедляются»⁸.

Дело в том, что иерархия длин, о которой речь шла выше, и соответствующие им энергии должны исчисляться в СЦИ. Энергия в системе центра инерции ($E_{СЦИ}$) связана с энергией в лабораторной системе ($E_{лаб}$) квадратичной зависимостью:

$$E_{лаб} = \frac{E_{СЦИ}^2}{2M_p c^2},$$

где M_p — масса протона.

Начиная со времени создания первого космотрона на энергию 3 $Gэв$ (1953 г.) и кончая работой Серпуховского ускорителя на 75 $Gэв$, в настоящее время (1973 г.) энергия в СЦИ увеличилась или соответствующие длины уменьшились в отношении $\sqrt{3/75} = 1/5$, т. е. только в пять раз. Таким образом, с точки зрения иерархии длин и закономерностей, о которой шла речь выше, *в течение последних двадцати лет мы экспериментуем примерно в одной и той же области физических закономерностей*. Хотелось бы, чтобы это существенное обстоятельство всегда имелось в виду при анализе ситуации в физике высоких энергий.

Скорее достойно удивления, как много нового открыто и открывается в этой сравнительно узкой области. Не исключено, что одно из существенных экспериментальных достижений физики высоких энергий последних лет — это исследование сечений глубоконеупругих взаимодействий при рассеянии, в частности, лептонов (нейтрино, электронов) высоких энергий на нуклонах.

«65 лет назад Эрнест Резерфорд, наблюдая, как рассеиваются α -частицы на тонкой металлической фольге, пришел к выводу, что атом не является однородным, а состоит из отрицательно заряженных электронов, окружающих малые положительно заряженные ядра... Недавние эксперименты с электронами, ускоренными до энергии 21 Гэв на двухмильном Стэнфордском линейном ускорителе, указывают на то, что история, по-видимому, повторяется на расстояниях в 100 000 раз меньших, чем атомные. Оказалось, что электроны сверхвысоких энергий рассеиваются на протонах и нейтронах так, как никто не предполагал. Из этих опытов был получен вывод о том, что ядерные частицы обладают сложной внутренней структурой и состоят из точечных компонентов, названных партонами»¹¹. Хотя толкование этих экспериментов совсем не столь однозначно, как это излагается Кендалом и Панофским *), все же новая идея строения нуклонов из новых для науки частиц (партонов) возникла — она будет жить и проверяться в дальнейших экспериментах. И, конечно, не исключено ее экспериментальное подтверждение.

В данном случае речь идет о раскрытии следующей «матрешки», почти в буквальном смысле этого образа. Правда, в отличие от ситуации со слабыми взаимодействиями, современная теория не содержит конкретной длины, с которой связывалось бы существование новых структурных единиц. Если подобные частицы и существуют, то мы не можем сказать, какое поколение ускорителей потребуется для их обнаружения. Не исключено все же, что прямые или существенные косвенные данные в пользу существования таких частиц могут быть получены на ускорителях, имеющих в наличии, или на ускорителях ближайшего поколения.

Необходимо подчеркнуть, что в последние десятилетия появилась принципиально новая концепция о структуре материальных частиц. Если до последних десятилетий в истории человеческой культуры господствовала идея, согласно которой, грубо говоря, частицы большей массы строились из частиц меньших масс, то в последние десятилетия возникла идея, в некотором смысле противоположная этой древней и, как казалось, очевидной идее. Появилась идея строить частицы меньших масс из частиц больших масс, сильное взаимодействие между которыми приводит к соответствующему дефекту масс данных систем. Здесь имеются в виду попытки строить π -мезоны из μ -мезонов (Вентцель), π -мезоны из нуклонов и антинуклонов (Ферми — Янг), адроны из эсов (англ. асе), кварков (Цвейг — Гелл-Манн) и, наконец, партоны Фейнмана.

В связи с этой модификацией фундаментальной концепции в самой природе структуры вещества, которую, кстати, можно рассматривать, может быть, как одну из самых радикальных революций в наших представлениях о строении материи за всю историю физики, возникает вопрос: могут ли быть какие-то соображения о существовании в природе максимально тяжелой частицы, которая могла бы быть предельным по массе

*) Дело в том, что подобное поведение (увеличение) эффекта рассеяния лептонов на нуклонах, сопровождаемого множественным рождением частиц, все-таки предполагалось за несколько лет до осуществления экспериментов на СЛАКе. Было высказано предположение¹² и приводились некоторые доводы в пользу существования такой теоремы: $\sigma_{\text{tot}}^{\text{form}}, E \rightarrow \infty \geq \sigma_0$, где $\sigma_{\text{tot}}^{\text{form}}$ — полное сечение глубоконеупругого рассеяния с учетом форм-факторов в каждом из его каналов, σ_0 — сечение упругого рассеяния на точечной частице. Не так давно в работе Боголюбова, Владимирова и Тавхелидзе¹³ было показано, что существование этой теоремы совместимо с формализмом современной теории при не очень сильных ограничениях. Однако обращает на себя внимание то, что наблюдаемые эффекты очень далеки от асимптотических. Не исключено поэтому, что они выходят за рамки традиционной теории. Другими словами, возможность толкования эффекта с помощью существования какого-то рода субчастиц (партонов, кварков) пока не исключена.

структурным материалом для всех частиц? Любопытно, что из мировых констант можно построить массы целой группы близких по массе частиц, которые могли бы претендовать на эту роль. Из констант e (электрический заряд), g (мезонный заряд), $\hbar$ (постоянная Планка), c (скорость света), κ (гравитационная константа) можно построить следующие величины, имеющие размерность массы:

$$M = \frac{e}{V\kappa} \sim 10^{-6} \text{ г}, \quad \sqrt{\frac{\hbar c}{\kappa}} \sim 10^{-5} \text{ г}, \quad \frac{g}{V\kappa} \sim 10^{-5} \text{ г}.$$

Любопытно, что массы этой группы частиц максимально большой массы (скажем, «максимонов»), которые можно построить из мировых констант, все лежат в узком интервале: 10^{-5} — 10^{-6} г. Соответствующие длины ($\hbar/Mc$) лежат в области 10^{-23} — 10^{-33} см. С точки зрения иерархии длин эти длины должны находиться в самой нижней строчке таблицы. По-видимому, 10^{-33} см — это самая последняя длина в списке фундаментальных длин. На этой предельной длине, по-видимому, теряет смысл само понятие расстояния вообще, из-за квантовых флуктуаций метрики. И с этой точки зрения эти длины и соответствующие им массы частиц должны бы действительно рассматриваться как предельные.

Но интерес к «максимонам» как возможным структурным элементам заключается в том, что при таких массах и таких размерах, как оказывается, только гравитационных сил достаточно для образования систем с желаемым дефектом масс. Возможно, что между «слабой» длиной (10^{-17} см) и, скажем, гравитационной длиной (10^{-33} — 10^{-32} см) существует ряд иерархических длин, управляющих своими специфическими мирами физических явлений. Но в рамках существующих физических представлений и известных мировых констант пока нет места для каких-либо других длин. Очень возможно, что эти гипотетические частицы в свободном состоянии не стабильны *).

Вернемся теперь к утверждению, что «самый блистательный в каком-то смысле период в жизни микрофизики уже позади». Это положение не вытекает логически из каких-либо обоснованных посылок; оно является просто одной из остро сформулированных дискуSSIONных (и надо сказать, часто дискутируемых) тем. Кстати, вопросы подобного рода уже не раз возникали в истории науки, и напомнить о них очень поучительно.

В конце прошлого столетия, по свидетельству П. Милликена, представлялось, что все великие открытия в физике уже сделаны и что дальнейший прогресс будет состоять не в открытии качественно новых явлений, а скорее — в более точном количественном измерении уже известных

*) Утверждение, что в настоящее время микрофизика имеет своим объектом «редкие экзотические растения», короткоживущие частицы, которые не имеют прямого отношения к «хлебу насущному», к той форме стабильного вещества, в котором мы существуем, не совсем точно. Во-первых, стабильные частицы — протоны, электроны, фотоны; нейтроны и сложные атомные ядра — по-прежнему остаются объектами исследования во всех областях энергии. И наиболее впечатляющие результаты физики высоких энергий (глубокоinelастичные процессы) как раз связаны с взаимодействием именно таких частиц (протонов и электронов). Более того, такая короткоживущая в свободном состоянии частица, как нейтрон, в связанном состоянии стабильна и входит структурно в стабильную ядерную материю. По-видимому, такие короткоживущие частицы, как гипероны, являются структурными элементами коллапсирующих небесных тел в их посленейтронной стадии. Более того, если окажется, что партоны или другие подобные гипотетические частицы действительно являются структурными единицами вещества, то, возможно, именно в свободном состоянии нестабильные, короткоживущие частицы («экзотические») являются тем «хлебом насущным», о котором говорится в статье Гинзбурга. Мы не можем утверждать, что так будет на самом деле, но эту возможность нельзя также исключать.

явлений. Это господствующее общественное мнение эпохи формулируется учителем М. Планка Филиппом Жолли несколько более образно, но, по сути дела, теми же словами: «Конечно, в том или ином уголке можно еще заметить или удалить пылинку, но система, как целое, стоит прочно, и теоретическая физика заметно приближается к той степени совершенства, каким уже столетия обладает геометрия» (см. ¹⁴). Как исторический анекдот воспринимаются теперь слова: «Все великие физические открытия уже сделаны», произнесенные лишь за десятки лет перед открытием теории относительности и квантовой механики.

Конечно, этот исторический экскурс ни в коем случае не является каким-либо доказательством того, что наиболее блистательный период микрофизики не позади. Целью этого экскурса может быть лишь довод в пользу большей осторожности в утверждениях. Но в известном смысле реальный и, кажется, довольно убедительный ответ на этот вопрос можно получить из анализа еще не решенных проблем, которые стоят перед микрофизикой. Конечно, в случае обнаружения более фундаментальных структурных элементов типа кварков или партонных перед нами возник бы действительно новый и в определенном смысле блистательный период науки. Но эта гипотеза не обязательно должна реализоваться. Есть, однако, проблемы, решение которых, безусловно, составит новую и притом, может быть, действительно самую блистательную эпоху в науке. И эти проблемы, как представляется в настоящее время, видимо, прямо могут быть связаны с экспериментальными возможностями обсуждаемого поколения ускорителей.

Как это ни странно, но по очень крупному счету наше понимание физики не очень далеко ушло от понимания древних. Это утверждение звучит как парадокс, но именно по крупному счету оно справедливо. Действительно, если древние греки считали фундаментальными сущностями четыре стихии: землю, воду, воздух и огонь, не понимая, как мы теперь сказали бы, фундаментальных свойств этих стихий, то современная физика пытается раскрыть все содержание реального мира как сложное взаимодействие различных «полей». Это — те же четыре «стихии» древних: сильные поля, электромагнитные, слабые, гравитационные. И так же, как древние, мы пока далеки от понимания фундаментальных свойств этих «стихий» физики XX века. Другими словами, наши попытки описать свойства этих полей в отдельности — электродинамику саму по себе, слабые взаимодействия сами по себе и т. д. — оказываются несостоятельными *).

*) В настоящее время появились аргументы в пользу того, что собственная масса электрона, по-видимому, не может быть электромагнитного происхождения. Дело в том, что в ряде работ найдено более точное выражение для электромагнитной массы электрона Дирака. Такое решение «сверхпроводящего типа» ¹⁵ не разлагается по степеням константы тонкой структуры. Оно, в отличие от известной логарифмической зависимости, возвращает выражение к классической линейной расходимости, но с очень малым фактором, характеризующим поляризацию вакуума:

$$\Delta m \sim (e^2/rc^2) e^{-3\pi\hbar c/2e^2}.$$

Масса порядка массы электрона возникает лишь при обрезании на длинах $r \sim (m^2/m_e c^2) e^{-650}$. Эта длина на много порядков меньше той длины, на которой теряет смысл само понятие длины из-за квантовой флуктуации метрики. Более того, выражение для Δm автоматически делается конечным при учете гравитационного дефекта данной массы, сконцентрированной в данной области. Конечная электромагнитная масса электрона оказывается порядка $\sim \sqrt{\hbar c/\kappa e^{-3\pi\hbar c/2e^2}}$, т. е. масса электрона не может быть электромагнитного происхождения (вернее, электродинамического происхождения), если эти вычисления верны. Правда, выражение для Δm существенно меняется, если учесть существование μ -мезонов, протонов и, возможно, других заряженных ферми-частиц, но тогда мы выходим за рамки электродинамики.

Мы не понимаем и не можем количественно описать возникающий во взаимодействиях этих «стихий» спектр так называемых элементарных частиц. Мы практически давно пришли к мысли, что исследовать «до конца» каждое из таких взаимодействий в отдельности невозможно. Всегда наступает такой момент в физике высоких энергий, когда в поведении данного эффекта начинают принимать участие все другие взаимодействия; это значит, что нельзя изъять из природы целиком одну из ее «стихий», не нарушив всего остального. Мы привыкаем к мысли, что природа построена без архитектурных излишеств. В сущности, мы давно привыкли к мысли о единстве природы. Но мы не умеем описать единство четырех «стихий», хотя различными путями стремимся к нему. Фарадею удалось установить глубокую связь магнитных и электронных явлений. Но Эйнштейну не удалось объединить в единой картине гравитационные и электромагнитные взаимодействия. Гейзенбергу не удалось на основе некоего фундаментального Ψ-поля добиться успеха в понимании некоторых сторон этого единства. Однако мы стремимся и будем стремиться к пониманию глубокого единства «стихий». В настоящее время возникли идеи «нарушенных симметрий». В них пока брезжит возможность создания единой теории слабых и электромагнитных взаимодействий.

Пока речь идет не об определенной конкретной теории, а скорее о некоей стратегии в попытках построения такой теории в рамках универсализации трехчастичных взаимодействий. В этой концепции находит свое, казалось бы, естественное место идея промежуточного бозона, а его масса дается численными значениями, не очень далекими от энергетического значения того же унитарного предела *). Но в следующем поколении ускорителей именно о таких энергиях и идет речь. Развивающиеся концепции теории слабых и электромагнитных взаимодействий являются также одним из сильных аргументов в пользу построенных ускорителей на высокие энергии и строительства следующего поколения ускорителей. Следует также напомнить, что слабыми взаимодействиями обладают не только лептоны, но и адроны; поэтому уже в настоящее время становится ясным (это показывают различные конкретные варианты теории), что подобная последовательная концепция должна включать в себя единую теорию слабых, электромагнитных и сильных взаимодействий. Есть также серьезные основания полагать, что регулизирующая роль гравитационного поля может явиться одним из наиболее существенных моментов этой концепции. Все сказанное является существенным аргументом в пользу того, что «блистательный период» микрофизики скорее еще впереди.

Мы еще неоднократно будем возвращаться к обоснованию этого тезиса в дальнейшем, обсуждая некоторые проблемы физики будущего.

в) Место микрофизики в иерархии наук. Влияние микрофизики на другие науки и на технический прогресс. Вряд ли можно серьезно говорить о какой-то иерархии наук в формальном смысле этого слова вообще. Вряд ли имеет смысл вопрос: в каком иерархическом отношении находится микробиология и микрофизика или микрофизика и социология? Но в рамках физики, вернее — в рамках науки, скажем, о «неживой» природе, нельзя не согласиться с Гинзбургом, что микрофизика является «аванпостом физики, ее самой передовой и глубокой частью». Отношение микрофизики к другим наукам характеризуется многими специфическими чертами, органически присущими именно микрофизике и своеобразию ее развития.

*) В варианте этой теории, например, для массы нейтрального промежуточного бозона дается значение $\sim 40 \text{ Гэв}$, а для массы заряженного $\sim 80 \text{ Гэв}$.

В статье Гинзбурга перечислено большое количество важных проблем, стоящих перед физикой и астрофизикой. Но, как правило, эти проблемы — частные проблемы. Одна из характерных особенностей этих проблем заключается в том, что почти каждая из них, представляющаяся в настоящий момент очень значительной и интересной, может при дальнейшем исследовании в существенной части или полностью потерять свою значимость и интерес и вычеркнуться из «титулованного» списка проблем. В настоящее время вычеркивается из этого списка, например, проблема тяжелой воды. Металлический водород может не обладать свойствами, которые удобно было бы, например, использовать в высокотемпературной сверхпроводящей технике.

Очень соблазнительная идея поисков и создания высокотемпературных сверхпроводников может оказаться, например, физически принципиально нереализуемой. Может случиться, что в природе нет относительно устойчивых трансурановых элементов. Более перспективным для осуществления термоядерной реакции может оказаться, например, не лазерный вариант, а, как некоторые полагают, вариант электронный или даже, в известном смысле, традиционно термоядерный.

Это не значит, что перечисленные проблемы не представляют интереса. Ведь в случае нахождения высокотемпературных сверхпроводников возникла бы подлинная революция в технике.

Здесь хочется подчеркнуть отличие частных физических проблем от генеральной проблемы микрофизики — исследовать физические явления во все меньших пространственно-временных областях. *Это — генеральная проблема мировоззренческого характера; она имеет абсолютную ценность независимо от результата исследования: необходимо знать, каков мир физических явлений в этих областях мира, и это жажда знать представляет для человечества цель, к которой оно всегда будет стремиться.* Это такое же естественное стремление, которое влечет нас к исследованию ультрамикроскопических глубин Вселенной, к астрономии и астрофизике.

Но, отвлекаясь от этих общих положений, возвращаясь к конкретной теме нашей статьи, мы можем лишь повторить, что на ускорителях существующего и следующего поколений, во всяком случае на длинах $\sim 10^{-17}$ см, мы раскроем тайну природы слабых взаимодействий. А какова она, т. е. окажется ли, что истинное взаимодействие аналогично электродинамическому (трехчастичному) или действительно истинное — слабое взаимодействие (четырехфермионное взаимодействие), — и тот, и другой результат явится фундаментальным, фундаментальными окажутся изменения уровня нашего знания природы.

Уже шла речь о том, что с самого момента возникновения четырехфермионной формулировки теории слабых взаимодействий казалась заманчивой идея свести четырехфермионное взаимодействие к трехчастичному по типу электродинамики и других известных взаимодействий. То, что слабые взаимодействия в этой теории оказывались взаимодействиями особой природы, так сказать, «белой вороной» в семействе всех взаимодействий, делало идею унификации всех взаимодействий естественной и очень привлекательной. Если же выяснится в обсуждаемых экспериментах, что слабые взаимодействия сохраняют четырехфермионное своеобразие, тогда притягательную силу будет иметь и прямо противоположная идея о структуре взаимодействия *). С самого момента появления в физике таких величин, как спиноры, было известно, что из двух спиноров можно построить объекты с различными трансформационными свойствами —

*) То есть идея о четырехфермионной структуре *всех* взаимодействий.

вектор, тензор, скаляр и т. п. Так возникла в свое время идея нейтринной теории света: вектор электромагнитного поля строить из двух спиноров, описывающих нейтрино. С самого начала появления в физике спиноров возникла и живет идея фундаментальности именно спинорных полей, которые, возможно, определяют структурно и все другие поля. Таким образом, эксперименты в обсуждаемой энергетической области, в случае подтверждения истинности четырехфермионного взаимодействия, безусловно, оживят эту, по-своему также необычайно привлекательную, концепцию. *Мы видим, таким образом, на каком важнейшем перекрестке дорог дальнейшего развития науки о природе оказываются эксперименты в этой конкретно обсуждаемой энергетической области.*

В последние годы больших успехов достигла астрофизика: обнаружение реликтового излучения, новых астрофизических объектов, таких, как квазары, пульсары, нейтронные звезды и, возможно, «черные дыры», — все это привлекает внимание широкой научной общественности. Можно даже встретить утверждение, что именно астрофизике в настоящее время следует отдать предпочтение среди других физических наук⁶. Слов нет, успехи астрофизики большие, действительно, ей пока у нас уделяется недостаточно материальных средств и внимания. А в то же время астрофизика стала в большей степени, чем раньше, экспериментальной наукой. Это обстоятельство связано с тем, как справедливо формулирует Гинзбург, что в настоящее время астрофизика становится всеволновой. Если раньше астрофизические исследования велись только в области оптических длин волн, то теперь появление, с одной стороны, радиоастрономии, с другой — рентгеновской и γ -астрономии необычайно расширяет экспериментальные возможности астрофизики и получения новых сведений из космоса. А впереди многообещающая нейтринная астрономия и астрофизика гравитационных волн.

Безусловно, в астрофизике в последние годы получены существенные результаты, сделаны важные открытия. Но наиболее блестящее открытие в астрофизике — это, возможно, все-таки открытие не последних лет. Это по-видимому, то открытие, которое почти полсотни лет тому назад привело к модели нестационарной расширяющейся Вселенной, с метрикой, возможно, типа фридмановской.

По сравнению с этим открытием открытие квазаров, нейтронных звезд и «черных дыр», конечно, менее впечатляющее открытие. Если осмелиться проявить некоторую неосторожность в утверждениях, то можно высказать мысль о том, что наиболее блестящий период в развитии астрофизики, может быть, уже позади? Но не хотелось бы брать на себя роль пророка. Далее, небезынтересно заметить, что астрофизика в каком-то смысле становится ближе микрофизике. Ведь нейтронные звезды — это, по существу, грандиозные атомные ядра, в какой-то своей стадии даже гиперядра. Нейтронные звезды — это макроскопическая форма ядерного вещества.

С другой стороны, в настоящее время широко обсуждаются глобальные свойства «черных дыр», и очень похоже, что подобное состояние материи следует учитывать при построении последовательной теории элементарных частиц *). Астрофизика, вернее общая теория относительности,

*) Последнее замечание связано с тем, что в современной теории элементарных частиц в промежуточных состояниях допускаются состояния со сколь угодно большой энергией. Полная масса промежуточного состояния может быть больше массы любого космического тела и даже системы. Но в то же время, в нарушение всякой логики, современная теория игнорирует в этих состояниях гравитационные взаимодействия этих масс. Обращает на себя внимание то обстоятельство, что если в промежуточном состоянии оказывается масса порядка $M \sim \sqrt{\hbar c/\kappa} \sim 10^{-5} \text{ г}$, то гравитационный радиус массы $r_{\text{грав}} = 2\kappa M/c^2 = 2 \sqrt{\hbar c} \sqrt{\kappa/c^2}$ совпадает с областью локализации этой массы,

в принципе, допускает существование таких объектов с почти закрытой внутренней метрикой, как фридмоны *). Эта возможность делает относительноными сами понятия «макро» и «микро».

Есть некоторые основания полагать, что конечная стадия коллапса звезд — это проблема микрофизики. Действительно, если дальнедействующие кулоновские силы могут, в принципе, останавливать коллапс, то силы, обязанные обменом тяжелым векторным мезонам, на расстоянии $\sim 10^{13}$ см играют такую же роль дальнедействующих сил отталкивания. А плотность коллапсирующей звезды в таком малом объеме порядка 10^{72} г/см³, т. е. на 20 порядков меньше так называемой квантовой плотности (10^{94} г/см³), где, как некоторые полагают, коллапс мог бы быть остановлен каким-то, пока еще неизвестным своеобразием квантовых явлений.

Наконец, что сказать о Вселенной в начальный момент ее развития, когда она была локализованной, допустим, в области $\sim 10^{-13}$ см **): совсем неясно, принадлежит ли подобный объект ведению макро- или микрофизики?

А какой таинственностью окружен пока этот момент начального взрыва.. Какие неожиданности могут возникнуть в изменениях наших представлений о физических законах, когда наступит понимание физики этого события, — может, этот момент и будет самым блистательным этапом в истории астрофизики (а может быть, и микрофизики?). Последние замечания представляют собой существенные поправки к положению Андерсона об автономности наук.

Конечно, физика высоких энергий, или, общо, микрофизика, не является иерархическим базисом всех наук. И действительно, любой изолированный результат физики высоких энергий может не иметь никакого отношения к биологии, химии, социологии или философии. Но тем не менее прямое и не прямое влияние всей развивающейся области микрофизики на все науки в целом больше, чем какой-либо другой конкретной научной области. Очень существенно отметить и не прямое влияние современных фундаментальных исследований физики высоких энергий на науку и технику вообще. Дело в том, что эта область исследований сопровож-

допускаемой отношением неопределенностей Гейзенберга $l \sim \hbar/Mc = \sqrt{\hbar c} \sqrt{\kappa/c^2}$. При дальнейшем увеличении энергии промежуточного состояния (E) гравитационный радиус должен был бы соответственно возрасти. Но, с другой стороны, области локализации промежуточного состояния, согласно соотношению Гейзенберга, должны соответственно уменьшаться и при $M > \sqrt{\hbar c/\kappa}$ становились бы меньше гравитационного радиуса. Если подобная ситуация возникла бы в области применимости классической физики, мы бы сказали, что речь идет о системе, масса которой находится под гравитационной сферой Шварцшильда, т. е. о системе типа «черной дыры».

*) Как известно, полная масса закрытого мира Фридмана равна нулю: гравитационный дефект масс полностью погашает «голую» массу (массу атомов вещества). Полная масса закрытого мира дается выражением $M_{\text{tot}} \sim \text{const} \cdot \sin^3 \chi$ ($0 < \chi < \pi$). При $\chi = \pi$ полная масса равна нулю. Если «мир» почти замкнут: $\chi = \pi - \delta$, где δ очень мало, то $M_{\text{tot}} \sim \text{const} \cdot \sin^3 \delta$ тоже как угодно мало. Внешним наблюдателем вся данная Вселенная (с ее галактиками, скажем, цивилизациями) будет восприниматься как частица сколь угодно малой массы (допустим для усиления впечатления — порядка массы какой-нибудь элементарной частицы) и как угодно малых размеров. Сфера (в которую «заключена» материальная система) видится внешним наблюдателем также в форме микроскопически малого объекта: $s^2 \sim \text{const} \cdot \sin^2 \delta$. Если материя заряжена электрическим зарядом (e), то метрика мира оказывается полузамкнутой. При e , равном заряду одного электрона, полная масса системы оказывается равной одному из «максимонов», именно $M = e/\sqrt{\kappa}$. Фридмон — это «максимон», реализованный в такой почти замкнутой метрике Фридмана¹⁸.

**) Примерно при таких размерах Вселенной достигается квантовая плотность материи.

дается появлением принципиально новой, очень совершенной физической аппаратуры, часто принципиально новой техники, которая находит применение во многих областях науки и техники, в народном хозяйстве вообще и оказывает существенное влияние на технический прогресс в целом. Масштабы этого влияния недостаточно изучены, и оно пока ждет своего исследования. Напомним о большой роли ускорителей в различных областях науки, медицины и народного хозяйства.

Многоканальные анализаторы возникли в экспериментальном оборудовании микрофизики, а какое широкое применение находят они теперь в различных областях науки. Как учесть выгоду, которую приносят мировому хозяйству те усовершенствования, которые введены экспериментальной микрофизикой в использовании электронно-вычислительных машин? В настоящее время начинает широко использоваться синхротронное излучение различного диапазона волн в химии, физике твердого тела, биологии. Не известно, к каким открытиям в биологии могут привести новые богатые возможности исследования временных изменений в клетках с помощью синхротронного излучения в ангстремном диапазоне. Еще раньше биологии был «подарен» электронный микроскоп. Физика твердого тела в синхротронном диапазоне волн 10—2000 Å еще ждет своего развития.

Можно, например, утверждать, что следующее поколение ускорителей будет построено с использованием сверхпроводящей техники. И последняя в процессе создания ускорителей этого поколения получит свое дальнейшее развитие, которое окажет существенное влияние на применимость сверхпроводящей техники во многих областях народного хозяйства. Выше шла речь о непрямом влиянии экспериментальной физики высоких энергий на другие науки и технический прогресс. Но не менее важно и достойно внимания то обстоятельство, что теоретический аппарат, формализм теории, развивавшейся, казалось бы, в рамках потребностей физики элементарных частиц, нашел и находит, как известно, блестящее и эффективное применение в других областях физики, в частности в физике твердого тела. Стоит ли еще раз вспоминать предложение Андерсона о замедлении теоретических исследований в области физики высоких энергий? Очень уж незавидна роль того персонажа из басни, который по причине, как мы сказали бы, «узости» кругозора изрекал известную фразу: «Лишь были б желуди!..». Утверждение, что широкое практическое применение эффектов самой микрофизики уже исчерпано, не является логическим выводом из каких-либо бесспорных посылок.

Когда имеют в виду практические применения ядерной физики в прошлом, то обычно речь идет об использовании энергии, выделяемой в ядерных реакциях. Но это ведь только примерно один процент всей энергии, которая заключается в веществе. С тех пор, как в науке появилось соотношение $E = Mc^2$, возникла и остается маяющая проблема использования полной энергии вещества. Я уже слышу «крики беотийцев» и фразу типа той, которая звучала в цитированной речи Резерфорда. Что ж, мы знаем историю, знаем, насколько неудачным оказался прогноз авторитетнейшего ученого. Мы действительно пока не знаем путей использования этой энергии, но означает ли это незнание невозможность ее использования и в будущем? Во всяком случае неиспользованная кладовая энергии в природе существует. В будущем, вероятно, будут найдены технические возможности долговременного хранения значительного количества антивещества — этого максимально калорийного топлива.

По современным представлениям, энергия, выделяемая Солнцем, возникает в результате ядерных реакций одновременно с испусканием мощного потока нейтрино. Этот поток нейтрино пока не обнаружен. Если

десятикратное уточнение эксперимента не приведет к обнаружению солнечных нейтрино, мы будем вынуждены искать нетривиальных объяснений явления. Кстати, на этот случай теоретики заготовили одну из нетривиальных возможностей. Она возникла из попытки объяснить пока еще загадочный эффект нарушения так называемой комбинированной четности в распаде K_L^0 -мезона на два π -мезона. В одном из вариантов теории, разрабатываемой в Серпухове, возникает нарушение сохранения энергии. Оказывается, что этого нарушения закона сохранения энергии достаточно для наблюдаемого энерговыделения Солнца без испускания ожидаемого числа нейтрино. Конечно, исходя из здорового научного консерватизма, мы должны «морально» сопротивляться этой экстраординарной возможности («экология...»), ну, а если...

К сожалению, о будущих возможностях науки мы, по определению, не можем сказать многого. Мы не можем говорить о том, чего мы еще не знаем. Обычно самое важное и значительное в новой области исследований (как учит нас история) — это неожиданное и непредвиденное. *И существенный аргумент в пользу микрофизики заключается в том, что именно здесь неожиданное наиболее вероятно.* Нельзя предвидеть, какие практические применения возникнут на основе будущих исследований микрофизики. *Еще более необоснованными были бы любые отрицательные суждения.*

Обычно далеко идущими последствиями чреваты те явления, которые не находят пока объяснения в рамках устоявшихся представлений. Мы действительно не знаем, к чему нас приведет понимание пока непонятой ситуации с нарушением комбинированной четности в распаде K_L^0 -мезона. Мы пока не знаем, что таит в себе пока непонятая ситуация с отсутствием ожидаемого потока солнечных нейтрино. Мы пока продолжаем здесь мыслить привычными понятиями. Не исключено, что мы еще входим в микромир с макроскопической невежливостью, «в пальто и калошах».

«На каждом историческом этапе какая-либо одна из научных дисциплин, принадлежащих к большому региону естествознания, выходит на авансцену и становится знаменем научного прогресса»⁶. Как следует из того, что сказано выше, есть определенные основания полагать, что на длинах, близких к энергетическому унитарному пределу (300 Гэв в СЦИ), *на «авансцену» снова выходит физика, физика высоких энергий.* Хотелось бы еще раз подчеркнуть, что эта статья совсем не ставит своей целью доказательство необходимости сооружения ускорителей на высокие энергии вообще. Речь идет об ускорителях на определенную энергию, именно на энергию ~ 300 Гэв *) в СЦИ, с вполне определенными задачами **), и *игра здесь определенно стоит свеч.*

Итак, второй раз на протяжении четверти столетия возникает целенаправленный проект ускорителя, строительство которого заранее оправдано ожидаемыми результатами.

Надо ли строить затем ускорители на еще ббльшие энергии — этот вопрос остается открытым; в настоящее время у нас нет конкретных аргу-

*) То есть, порядка 300 Гэв, но, по существу, речь идет о 300 Гэв и выше, например 300—400 Гэв.

**) В обосновании целесообразности сооружения такого ускорителя мы ограничились теми задачами, которые заведомо имеют решения (альтернативные), любое из которых оправдывает сооружение. Мы совсем не касались обширной программы физических исследований (асимптотические проблемы и пр.), которая переходит к этому ускорителю «в наследство», как продолжение работ ускорителей ЦЕРН, Серпухова и Батавии. Мы это сделали сознательно, чтобы сказать: «А кроме того, имеется широчайшая программа исследований на этом ускорителе, которой мы здесь не касаемся». С подобной программой исследований можно познакомиться по статье Д. И. Блохина и др. (УФН 109, 259 (1973)).

ментов в пользу такого утверждения. Не исключено, что ускорители этого поколения окажутся последними (по предельной энергии) в истории ускорительной техники. В этой статье мы не обсуждаем, какой тип ускорителей на данную энергию следует считать предпочтительным: традиционный ли, или со встречными пучками, и в этом случае — протон-протонный или протон антипротонный, электрон-протонный или электрон-позитронный. Правда, очень соблазнительно по ряду возможностей ускоритель на встречных электрон-протонных пучках. Но обсуждение конкретного варианта ускорителя этого поколения — вопрос особый. Он требует длительной и кропотливой работы.

УДОРОЖАНИЕ НАУК

Очень часто приходится слышать утверждение, что физика высоких энергий стала дорогой. Это утверждение справедливо. Но, к сожалению, справедливо более общее утверждение, именно что *все науки становятся дорогими*. Дело в том, что постепенно наступила эра, если можно так сказать, индустриализации наук. Правда, именно ядерная физика была инициатором и первым объектом серьезной индустриализации ее экспериментальной базы, что явилось прецедентом к созданию мощных установок, в сущности, во всех областях науки. В атомной физике был впервые преодолен и чисто психологический барьер бытовавшей «скромности» экспериментальных установок, предназначенных для научных исследований. Появилась практика создания установок такого масштаба, который ранее просто отсутствовал. А главное, доказана реальная возможность и целесообразность такой индустриализации. Конечно, на самом деле идет речь не о психологическом эффекте, а о реальном процессе в развитии наук. Наука в широком смысле этого слова стала более чем когда-либо существенным элементом технического прогресса, а высокий технический прогресс индустриализует науку. Следует сказать, что наука, посвященная космосу, по своей дороговизне давно и намного обогнала физику высоких энергий. Во многих других областях наук необходимость больших затрат также быстро возрастает. Теперь стало очевидным, что создание в стране ускорителя, предельного по своим параметрам, в настоящее время — это не просто организация еще одного института, это появление нового национального, а по своим тенденциям нового международного центра по физике высоких энергий *). Подобный центр координирует научную деятельность многочисленных научных институтов, которые принимают участие в его работах.

Организация подобного центра почти в любой области науки требует материальных затрат, которые в своих тенденциях в различных областях науки, видимо, стремятся к существенному количественному сближению. Так, в августовском номере «Physics Today» за 1972 г. опубликована программа предполагаемого финансирования астрофизических исследований на предстоящее десятилетие. Эта программа разработана специальным комитетом под руководством Дж. Гринштейна (J. Greenstein). В совокупности стоимость этой программы оценивается в сумме что-то около 800 млн. долларов. Стоимость лишь одного радиотелескопа, строительство которого предполагается завершить в 1980 г., выражается в сумме, близкой к 80 млн. долларов. Другой пример: передовой в научном отношении национальный центр по физике твердого тела должен содержать в своем комплексе достаточно мощный исследовательский реактор, различного

*) Эти тенденции перерастания национальных центров в центры международных могут существенно облегчить и проблему финансирования.

рода ускорители, в том числе ускоритель, использующий синхротронное излучение, парк современных вычислительных машин; все это вместе на первой очереди строительства такого центра требует вложения примерно тех же 100 млн. рублей.

Национальный центр по термоядерным исследованиям в их различных направлениях — традиционных, электронных, лазерных — только на первых порах своего развития требует не менее 100—200 млн. рублей.

Хорошо экипированный национальный биологический центр (передовые по конструкции центрифуги, электронные микроскопы, соответствующие ускорители, в том числе дающие синхротронное излучение в необходимом диапазоне, парк вычислительных машин и т. д.) в течение нескольких лет реализует ассигнования в размерах тех же 100 млн. рублей.

Строительство современного национального центра, например, по борьбе с раковыми заболеваниями, вооруженного современной передовой техникой до л-мезонной терапии включительно и диагностирующими ЭВМ, требует затрат того же порядка. Ускоритель следующего поколения — ускоритель унитарного предела — потребует до 1990 г. затрат не больше тех, что планируются на развитие астрофизики в США.

Иногда приходится слышать высказывания, что ускорители следующего поколения надо строить не путем затрат больших денежных средств, а с помощью, образно выражаясь, «серого мозгового вещества», находя новые, нетрадиционные возможности в ускорительной технике. Конечно, поиски новых возможностей в ускорительной технике необходимы, и они ведутся. Но опыт строительства в физике высоких энергий свидетельствует о том, что все то, что создается вокруг ускорителя, в том числе и техника, необходимая для экспериментов, требует финансовых затрат больших, чем стоимость самого ускорителя. Таким образом, если в будущем посчастливится найти возможность, которая сводит к нулю стоимость самого ускорителя, затраты на создание всего центра сократятся менее чем наполовину. Практически, видимо, дело идет об уменьшении общих затрат на создание центра на какие-то не очень большие проценты, что вряд ли имеет принципиальное значение для обсуждаемой проблемы.

Совет Дайсона⁴ заменить исследования на ускорителях исследованиями в физике космических лучей не является полезным советом, а аргументы, приводимые Дайсоном, хотя во многом и справедливы, несостоятельны в главном.

Исследования в космических лучах дали очень много ценного и существенного для физики высоких энергий. Эту заслугу физики космических лучей Дайсон справедливо подчеркивает. Справедливы и его советы активизировать исследования в физике космических лучей. Дело в том, что представители ускорительной физики высоких энергий недооценивали и недооценивают результаты и возможности физики космических лучей. Эта недооценка, и иногда игнорирование, данных космических лучей часто является результатом незнания с ними. И, надо сказать, отчасти она обязана непривычному и чуждому ускорительной технике качественному мышлению космиков: очень часто им приходится делать заключение на основании по необходимости неполного набора далеко не точных данных, хотя во многих случаях эти выводы оказывались соответствующими действительности.

С другой стороны, именно строго количественный характер данных, получаемых на ускорителях, «деморализовал» и самих космиков, работавших ранее в этой же энергетической области. В результате у исследователей космических лучей возник своеобразный «комплекс неполноценности»; этот комплекс и задержал процесс индустриализации этой области исследований.

Та дешевизна физики космических лучей, которая подчеркивается Дайсоном, относится к прошлому. Если заниматься физикой космических лучей серьезно (т. е. результативно), она также перестанет быть дешевой. Внеатмосферная физика космических лучей требует создания хорошо ориентированных орбитальных станций. Некоторая скромная часть подобной программы запланирована в том же докладе Гринштейна наряду с внеатмосферной рентгеновской и γ -астрономией на общую сумму в 380 млн. долларов. Но даже более совершенная и более дорогая внеатмосферная физика космических лучей не в состоянии выполнить ту программу исследований, которая вырисовывается в возможностях ускорителей следующего поколения. Отдельные темы наземной физики космических лучей, конечно, представляют большой интерес в этой области энергий с точки зрения тех задач, которые не пересекаются в текущем десятилетии с ускорительной физикой высоких энергий. Они могли бы играть роль качественных и полукачественных ориентиров для ускорительной физики следующего поколения *). Но здесь стоимость эксперимента значительно возрастает благодаря необходимости вести существенным образом его индустриализацию и соответственно увеличить масштабность.

Так постепенно отмирает миф о дешевизне современных экспериментов в научных областях, не связанных с физикой высоких энергий. Дороговизна современного эксперимента имеет ту же причину, что и дороговизна современного воздушного лайнера по сравнению с затратами на самую роскошную почтовую карету конца XVIII века.

Но возможность подобных затрат в различных областях народно-хозяйственной деятельности опирается на национальные доходы, непрерывное возрастание которых обязано техническому прогрессу и, в конечном счете, той же науке. В то же время следует напомнить, что общая сумма мировых затрат на науку составляет лишь небольшую часть мирового бюджета.

И выделение средств на развитие наук пока еще в существенной части сохраняет черты меценатства — оно не всегда определяется рационально внутренними потребностями науки, а тем, сколько «можно» выделить на науку в ряде других затрат. Но в этом «можно» еще много неопределенностей и случайного.

Речь идет не о том, чтобы делить волевым образом наперед заданный, прямо скажем, не очень большой «пирог» (говоря словами Андерсона), а о том, что естественно, целесообразно, рационально и поэтому в конечном счете выгодно для народного хозяйства, т. е. о том, чтобы ассигнование средств на развитие науки привести в разумное соответствие с внутренними и естественными потребностями различных научных направлений.

Если этого нет, то существенная вина нас, ученых, заключается в том, что мы не смогли еще убедить современный мир, общество в необходимости не меценатского, а рационального, истинно планового подхода к финансированию науки.

Физический институт им. П. Н. Лебедева АН СССР

*) Кстати, ускоритель в Батавии даже при достижении им по проекту его предельной энергии 500 Гэв в СЦИ будет эквивалентен ускорителю со встречными пучками 2×16 Гэв. С точки зрения «иерархии длин» (см. таблицу), казалось бы, мало оснований полагать возникновение на этих длинах принципиально новой физики, проявлением которой Дайсон обуславливал целесообразность строительства ускорителя в Батавии. Хотя щедрость природы и здесь возможна, не исключено, что существенную часть того, что, как мы можем уверенно сказать, раскроется на ускорителях «унитарного предела», окажется возможным исследовать на ускорителе в Батавии; это внесет известные поправки в проект ускорителя следующего поколения.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Nature of Matter. Purposes of High Energy Physics. Ed. Luke C. L. Yuan, Brookhaven National Laboratory Associated Universities, 1965.
 2. Природа материи. Цели физики высоких энергий, УФН 86, вып. 4 (1965).
 3. Status of the Project for European 300 GeV Proton Synchrotron.
 4. F. Dyson, Phys. Today 23 (9) (1970) (см. перевод: УФН 103, 529 (1971)).
 5. В. Л. Гинзбург, УФН 103, 87 (1971).
 6. Л. А. Арцимович, Природа, № 9, 2 (1972).
 7. F. T. Cole, New Scientist 51 (No. 767), 508 (1971).
 8. F. W. Anderson, *ibid.*, p. 510.
 9. G. Seaborg, W. Corliss, Man and Atom (Building a New World through Nuclear Technology).
 10. F. V. Bunkin, A. M. Prokhorov, Commemorative Volume Honouring Prof. Kastler, Paris, 1968.
 11. H. Kendall, W. Panofsky, Scientific American 224 (6), 60 (1971) (см. перевод: УФН 106, 315 (1972)).
 12. М. А. Марков, JINR Preprints, Dubna, D-1269 (1963), E2-4370 (1969).
 13. Н. Н. Боголюбов, В. С. Владимиров, А. Ц. Тавхелидзе, Препринт ОИЯИ E2-6490, Дубна, 1972.
 14. М. Планк, От относительного к абсолютному, Вологда. 1925, стр. 15—16.
 15. П. И. Фомин, В. И. Трутень, ЯФ 9, 838 (1969).
 16. М. А. Марков, Cosmology and Elementary Particles (Lecture Notes), International Centre for Theoretical Physics, Trieste, 1971, IC/71/33, pt. I—II.
-