



**1917-1967**  
**ВЕЛИКОЕ**  
**ПЯТИДЕСЯТИЛЕТЬЕ**  
**Наука на марше**

Физики скоро получат новую изумительную «машину познания» — крупнейший в мире серпуховской ускоритель протонов.

# НАУКА И ЖИЗНЬ

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ПРАВДА»

● Советские ученые распахивают дверь в энергетику будущего: начал работать первый опытный МГД-генератор ● Бесценный документ истории—фотолетопись первых дней Октября ● На пассажирские трассы готовится выйти ИЛ-62 ● Тбилисский институт, специальность которого лечение бесплодия, принес счастье во многие семьи ● Николай Старостин предлагает вниманию любителей футбола символическую сборную СССР: одиннадцать лучших из лучших, блиставших на полях стадионов за полвека ● Лейтмотивом статьи «Ваш велосипед» служит нехитрая мысль: «Чтобы не сетовать на машину, к ней надо хорошо относиться».



**6**  
 1967

56-2

# Прорыв к антимирам

Инженер Борис РОЩИН, специальный корреспондент «Науки и жизни».

Основная идея метода встречных пучков отражена в самом названии — два потока ускоренных частиц направлены навстречу друг другу, и «снаряд» сталкивается с летящей на него «мишенью». При этом энергия взаимодействия частиц возрастает не вдвое, как кажется с первого взгляда, а в сотни и тысячи раз. Рассказывая о крупнейшем центре сибирских физиков, Институте ядерной физики, журналист знакомит вас с работами ученых, удостоенных в этом году Ленинской премии «за разработку метода встречных пучков для исследований по физике элементарных частиц».

Резерфорд любил повторять своим сотрудникам: «У нас мало денег, поэтому мы должны думать». Может быть, именно отсутствие больших средств определило стиль работы этого выдающегося ученого — изобретательность, простоту экспериментов и в то же время фундаментальность их идей. Многие из этих идей потом легли в основу целых областей науки. По сути дела, наиболее важные экспериментальные исследования в области физики вы-

соких энергий используют принцип, впервые предложенный Резерфордом, — бомбардировку мишеней потоками частиц.

## МИШЕНЬ СТАНОВИТСЯ ПОДВИЖНОЙ

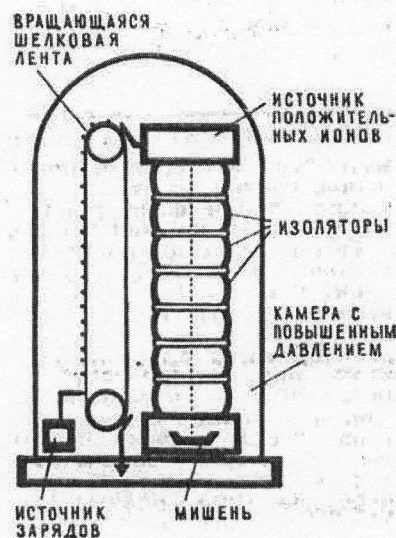
Существование атомных ядер Резерфорд открыл, изучая рассеяние потока альфа-частиц атомами азота. В этом классическом

эксперименте он остроумно использовал идею микроскопа для исследования микромира. Как свет выступает то в роли корпускул, то в роли волн, точно так же частицы одновременно являются и волнами. Чем выше энергия частиц, тем короче длина волны и тем более мелкие детали можно «рассмотреть» с их помощью.

Для исследования строения атома Резерфорду вполне достаточно было альфа-частиц с энергией в несколько миллионов элек-

**ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИЕ УСКОРИТЕЛИ.** В них заряженные частицы приобретают энергию под действием постоянного электрического поля.

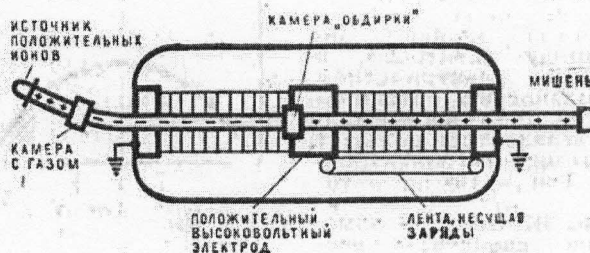
**ГЕНЕРАТОР ВАН-ДЕ-ГРААФА.** Используется в элек-



тродатических ускорителях. Заряды переносятся к высоковольтному (верхнему) собирающему электроду с помощью движущейся ленты. Постепенно на верхнем электроде накапливается очень большой заряд и создается высокая разность потенциалов между верхним и нижним электродами — обычно 2—5 миллионов вольт. Эта разность потенциалов и двигает «снаряды» — положительные ионы — и мишени.

**ТАНДЕМНЫЙ УСКОРИТЕЛЬ** (ускоритель с перезарядкой). Возникающие при нулевом потенциале положительные ионы ускоряются до нескольких тысяч эВ

и выпускаются в камеру, наполненную газом. Здесь многие из этих ионов захватывают по два электрона, приобретают отрицательный заряд и вновь ускоряются в электрическом поле генератора Ван-де-Граафа. Во второй, «обдирочной» камере у ускоряемых отрицательных ионов отбираются электроны, они превращаются в положительные ионы и повторно ускоряются (в поле того же генератора, но уже от «плюса» к «минусу»), приобретая, таким образом, удвоенную порцию энергии. Для перезарядки ионов наряду с газовыми камерами используется тонкая алюминиевая фольга.



трон-вольт, рождающихся при естественном радиоактивном распаде. Дальнейшее проникновение в глубины материи потребовало более высоких энергий. Их дали ускорители — машины, способные разгонять частицы до околосветовых скоростей. Уже изучение электромагнитной структуры протона и нейтрона — «кирпичей», из которых складываются атомные ядра, потребовало потока электронов с энергией до миллиарда электрон-вольт. Познание структуры других элементарных частиц, структуры пространства-времени требует сегодня гораздо более высоких энергий. Погоня за все более высокими энергиями частиц, разгоняемых в ускорителях, — одна из основных тенденций в развитии физики.

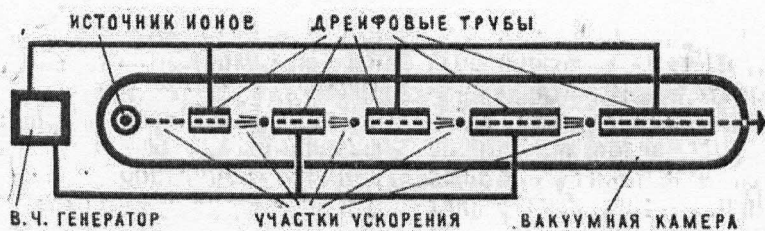
Одним из путей резкого увеличения энергий взаимодействия частиц высоких энергий оказался метод встречных пучков, который в нашей стране успешно разрабатывается в Новосибирском институте ядерной физики Сибирского отделения Академии наук СССР.

Со времен Резерфорда идея экспериментов по изучению микромира оставалась неизменной: пучок быстрых частиц бомбардирует неподвижную мишень. Однако, когда скорость частицы приближается к скорости света, масса ее существенно увеличивается и становится значительно больше, чем масса мишени. А тяжелая частица может передать легкой только очень небольшую часть своей энергии. Получается, что эффективность использования полученных дорогой ценой в ускорителях частиц ничтожна. Сибирские физики решили сделать мишень подвижной — сталкивать два встречных пучка частиц. В этом случае массы частиц остаются все время равными и они могут всю свою энергию превратить в энергию взаимодействия.

Это выглядело очень заманчиво: два небольших и дешевых ускорителя могли заменить один гигантский. Ведь при скоростях, близких к скорости света, сказываются эффекты теории относительности и энергия суммарного взаимодействия встречных частиц увеличи-

вается не вчетверо, как в классическом случае, а в значительно большее число раз. Так, при столкновении двух электронов, движущихся навстречу друг другу с энергией в один Гэв, относительная энергия взаимодействия оказывается 4 000 Гэв!

Идея встречных пучков сама по себе не нова — она является следствием теории относительности. Многие высказывали эту идею и ранее, но, как правило, весьма скептически относились к возможностям ее практической реализации. И этот пессимизм был оправдан. Плотность «подвижной мишени» — пучка частиц — в  $10^{17}$  раз меньше плотности мишеней для «классических» ускорителей, мишени, сделанной из конденсированного вещества. Нужно высокое искусство экспериментаторов, исключительная точность в реализации теоретических расчетов, чтобы осуществить столкновение столь разреженных пучков. Столкнуть две частицы по сложности примерно то же самое, что «устроить» встречу двух стрел, одну из которых выпустил бы Робин Гуд



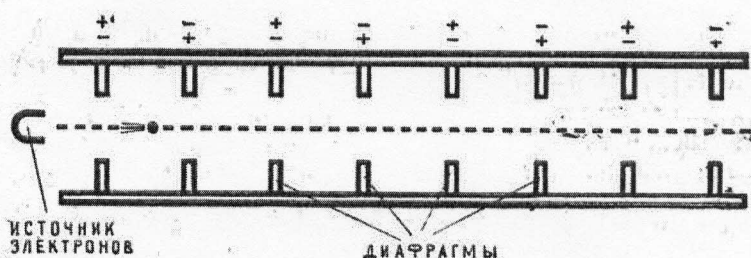
**ЛИНЕЙНЫЕ УСКОРИТЕЛИ.** Здесь частицы ускоряются в прямолинейной вакуумной камере под действием переменного электрического поля. Расстояния между электродами подобраны так, что частицы проходят все ускоряющие промежутки при одной и той же фазе электрического поля.

**ЛИНЕЙНЫЙ УСКОРИТЕЛЬ ПРОТОНОВ.** Частицы проходят сквозь трубчатые электроды (дрейфовые трубки), к которым подводится переменное напряжение. «Расписание» составлено так, что на время, когда между электродами действует тормозящее поле, частицы «прячутся» в дрейфовые трубки. Образно говоря, по-

ле «подхлестывает» ускоряемые частицы всякий раз, когда они выходят из дрейфовых трубок в «свободное пространство».

**ЭЛЕКТРОННЫЙ ЛИНЕЙНЫЙ УСКОРИТЕЛЬ.** Для соблюдения синхронности с

движением электронов электромагнитная волна (длина волны обычно равна 10 см) замедляется в металлической трубе (волноводе) с диафрагмами. Конфигурация электрического поля в таком диафрагмированном волноводе такова, что частицы как бы проходят последовательно через систему конденсаторов, электрическое поле которых все время для частиц является ускоряющим. Энергия частиц практически определяется длиной ускорителя. Гигантский линейный ускоритель в Стэнфорде (США) длиной 2 мили (около 3,6 км) ускоряет электроны до энергии 40 Гэв.



с Земли, а вторую — Вильгельм Тель, например, со спутника Сириуса.

Важную роль в появлении у нас ускорителей на встречных пучках сыграл Игорь Васильевич Курчатов. Он оказал существенную поддержку новому направлению в период его становления.

В своем докладе на Общем собрании Академии наук СССР академик Будкер говорил: «При выборе направлений исследований каждая лаборатория должна исходить из имеющихся у нее традиций, оборудования и финансовых возможностей. Когда мы начинали работу, наша лаборатория не была отягощена ни старыми традициями, ни старым оборудованием, ни деньгами, поэтому мы выбрали метод встречных пучков».

### ВСЕ «НЕ КАК У ЛЮДЕЙ»

Они сошли с проторенных путей, ведущих в область высоких энергий. И все у них шло «не как у людей». Недаром в русском народе говорят: «Голь на выдумки богата». Первый ускоритель на встречных электрон-электронных пучках был поставлен, если можно так сказать, «на ребро». Его магниты и вакуумные камеры, в которых крутятся электроны — их принято называть магнитными дорожками, — расположены вертикально, а не горизонтально, как это делается обычно. Такое расположение, как потом выяснилось, дало некоторые преимущества экспериментаторам.

«Главная деталь» ускорителя — два железных кольца, спаренных в виде восьмерки. Это накопитель. Специальный синхротрон каждые пятнадцать секунд методичными выстрелами постепенно заполняет его электронами с энергией в 43 Мэв. Коммутирующий магнит направляет частицы попеременно то на нижнюю, то на верхнюю дорожки. Здесь они раскручиваются и «доразгоняются» до 130 Мэв.

В виде беспрерывно крутящегося сгустка пучки живут примерно минут по десять. В масштабах микромира это века. Один оборот в кольце сгусток делает за стомиллионную долю секунды. Каждую секунду сгустки пронизывают друг друга сто миллионов раз. Получается это далеко не всегда. Прежде нужно добиться, чтобы сгустки вращались в одной плоскости, на одном и том же радиусе и прибывали на «рандеву» строго по расписанию. Кроме того, сгустки должны быть достаточно плотными, иначе частицы мнут друг друга.

Когда эксперимент удается, столкнувшиеся электроны сходят со своей орбиты, и синцитиальные счетчики, расположенные по диагонали в верхнем и нижнем кольце, регистрируют рассеянные частицы. Такие рассеяния под малыми углами встречных пучков частиц были зарегистрированы в Новосибирске.

Тогда такие случаи были единичными, сегодня в каждом эксперименте они насчитываются миллионами. Куда более редкие события — рассеяния под большими углами. Но от них можно ожидать больших открытий, и в том числе сведений о структуре пространства и времени на «сверхмалых» расстояниях.

«ВЭП-1» — компактный ускоритель. Высота «восьмерки» — 172 см, это средний рост человека. Тем не менее при таких скромных размерах установка дает энергию взаимодействия электронов — 100 Гэв.

Есть и чисто технические детали, которые отличают сибирские ускорители на встречных электрон-электронных и электрон-позитронных пучках от всех ускорителей мира. Новосибирские лаборатории — единственное место, где для инъекции частиц в накопительные кольца используются циклические ускорители; во всех остальных применяются более дорогие — линейные.

Да и сам инжектор, созданный нашими учеными, далеко не тривиальная машина. Он безжелезный.

Размеры ускорителя однозначно связаны с величиной используемого магнитного поля: чем больше поле, тем меньше радиус вращения частиц, а значит, и габариты всей машины. Но, к сожалению, у железа есть предел: в нем невозможно создать магнитные поля больше десяти — пятнадцати тысяч гаусс. Поэтому сибиряки и взялись за разработку безжелезных ускорителей, в которых магнитное поле создается сильным током, идущим по двум проводникам. Здесь величина магнитного поля может достигать двухсот тысяч гаусс и ограничивается только текучестью материала, из которого делают проводники тока. Безжелезный инжектор, представляющий в магнитные дорожки электроны с энергией 43 Мэв, весит всего пятьсот килограммов. Железный ускоритель на такие энергии весил бы несколько тонн.

### НА ОРБИТЕ АНТИВЕЩЕСТВО

Второй ускоритель сибирских физиков — «ВЭПП-2». Это название означает «встречные электрон-позитронные пучки». День рождения этого ускорителя, в котором сталкиваются частицы с античастицами, мыры с антимирами, — 18 июня 1964 года. В те дни в вестибюле Института ядерной физики висело большое, торопливо написанное объявление: «Вчера в 21 30 пучок электронов был введен в накопитель «ВЭПП-2» и прожил там 15 секунд. Дирекция и ученый совет поздравляют коллектив института с достигнутым успехом!»

Поздравляли весь коллектив. «ВЭПП-2» — это действительно творение всего института, хотя, конечно, основной вклад внесли Г. И. Будкер, А. А. Наумов, А. Н. Скрипский, В. А. Сидоров, В. С. Панасюк, удостоенные Ленинской премии в юбилейном, пятидесятом году жизни нашего государства. Помню, тогда меня в первый момент поразило обилие молодых, почти юношеских

лиц в институте. Возраст подавляющего большинства сотрудников — от двадцати трех до тридцати пяти лет.

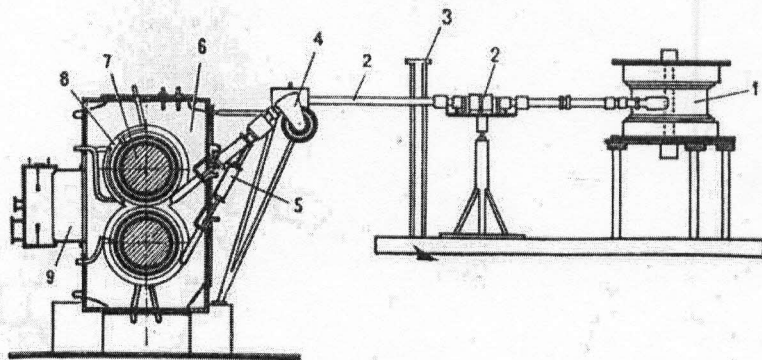
И дело здесь не только в том, что молод сам институт — ему еще нет и десяти лет. Молодость тянется к тем, кто идет неизведанными путями, ее всегда привлекает все необычное, неординарное. Молодость легче сплавляется в коллектив, а без самоотверженной работы множества людей создание такого ускорителя, как «ВЭПП-2», немыслимо.

Главная особенность второго сибирского ускорителя в том, что у него одна магнитная дорожка. Электроны и позитроны отличаются друг от друга только знаком заряда, общее магнитное поле раскручивает их в противоположных направлениях навстречу друг другу. В строго определенном месте электроны и позитроны сталкиваются, в результате чего погибают «родители» и рождаются новые пары частиц и античастиц.

Свой путь к месту гибели электроны начинают в так называемом «амплитудном ускорителе», который выстреливает плотные сгустки частиц с энергией около 3 Мэв в безжелезный синхротрон. Там их энергия увеличивается до 200 Мэв. Дальше пути электронов раздваиваются: коммутирующий магнит направляет их или прямо на магнитную дорожку, или в конвертор, где они преобразуются в свои «антиподы» — позитроны. Процесс преобразования вещества в антивещество пока, к сожалению, не очень производительный: на каждые сто тысяч электронов получается всего лишь один позитрон.

Для таких «экзотических» процессов это не так уж плохо. Во всяком случае, сибирским физикам удастся, накапливая позитроны, получать ток в пучке 50 ма. Еще недавно такой ток и для электронных ускорителей считался большим.

В массивной магнитной дорожке, похожей на какую-то кольцевую эстакаду, приподнятую вверх четырьмя изящными опорами, электроны и позитроны раз-



УСТАНОВКА «ВЭП-1» (вид сбоку).

1 — безжелезный синхротрон-инжектор; 2 — система транспортировки и фокусировки электронных пучков; 3 — радиационный и магнитный экран; 4 — поворотный магнит; 5 — коммутирующий магнит, направляющий электроны на верхнюю или нижнюю дорожку; 6 — наружная вакуумная камера; 7 — магниты накопителей и дорожки частиц; 8 — резонаторы, поставляющие энергию для разгона и поддержания энергии электронов на заданном уровне; 9 — титановый насос, обеспечивающий высокий вакуум в ускорителе.

гоняются до 700 Мэв, накапливаются, а затем сталкиваются. Относительная энергия их взаимодействия оказывается равной 2 000 Гэв! Линейный ускоритель, который давал бы частицы с такой энергией, протянулся бы на сотни километров, а диаметр магнитной дорожки «ВЭПП-2» всего три метра.

Естественно, подобный выигреш в размерах не дается даром. Платить приходится усложнением ускорителя, исключительно точной синхронизацией всех процессов, некоторые из которых длятся миллиардные доли секунды.

Огромные усилия советским и зарубежным физикам пришлось приложить, чтобы преодолеть различные виды неустойчивости пучков. Наиболее «зловредной» оказалась неустойчивость, связанная с так называемым пучок-пучковым взаимодействием. При встрече более сильный пучок уродовал, а затем и уничтожил слабый. Объяснение этого процесса было дано сибирскими физиками. А «знание и могущество — одно и то же», как справедливо заметил Бэкон. Понимание явления позволило найти средство борьбы с ним.

Наиболее волнующее впечатление от знакомства с сибирскими ускорителями

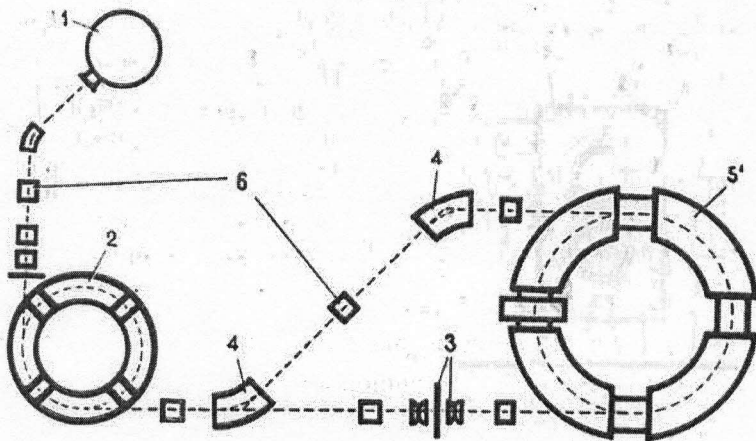
для не посвященных в тонкости ускорительной техники свет самого пучка — яркий, режущий глаз, не похожий ни на что другое.

И еще одно ощущение. Свет позитронов оказывает на вас поистине гипнотическое воздействие. Естественно, что он ничем не отличается от свечения электронов — завораживающее впечатление объясняется, наверное, просто внутренним восторгом наблюдателя, воочию увидевшего сияние антимира.

Интересно, что виден свет даже одного электрона или позитрона, который он испускает, закручиваясь в магнитном поле. При хорошем вакууме частицы живут на дорожке десятки часов. Утром можно увидеть свечение электрона, которым вы любовались накануне вечером. Он светился заметной синеватой звездой. Мне этот свет показался похожим на сияние загадочной Венеры. Ведь как эта планета всегда закрыта облаками, так и электрон укутан в покрывало таинственности.

## НАВСТРЕЧУ НЕИЗВЕСТНОМУ

У нас есть все основания называть электрон прирученной частицей. Электро-



УСТАНОВКА «ВЭПП-2» (вид сверху).

1 — амплитудный инжектор, поставляющий порции электронов с энергией в 3 Мэв; 2 — безжелезный синхротрон, увеличивающий энергию частиц до 200 Мэв; 3 — конвертор, преобразующий электроны в позитроны; 4 — поворотные магниты; 5 — накопительная дорожка, на которой «живут» частицы до встречи; 6 — система транспортировки и фокусировки электронных пучков.

лы покорно глядят нам брюки, разогревают обед, светятся по вечерам в лампочках — словом, выполняют множество привычных обязанностей. Но, покоренные, они остаются одной из главных загадок природы. Никто из физиков до сих пор не сможет объяснить вам, что хотела сказать природа, создав массивного «близнеца» электрона — мю-мезон. Эти частицы неотличимы по своим свойствам, только мю-мезон примерно в двести раз тяжелее. Никакие другие элементарные частицы таких «фокусов» не выкидывают. В квантовой электродинамике электроны рассматриваются как точечные образования. А так ли это на самом деле? Имеют ли электроны какие-то конечные размеры? И кто знает, может быть, первыми их узнают новосибирские физики.

В экспериментах со встречными пучками сибиряки пытаются прощупать структуру пространства-времени. Вспомните закон Кулона:

$$F = \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

А что будет, когда  $r$  стремится к нулю? Бесконечность? Но ведь она лишена физического смысла. В теоретической физике это препят-

ствие обходят с помощью формальных математических приемов. Опыты на ускорителе должны установить, до каких пор так можно поступать «безнаказанно», точнее, до каких расстояний верны законы квантовой электродинамики. Может быть, существуют некие «кванты пространства» и о расстояниях меньших какого-то определенного предела говорить бессмысленно, как, скажем, бессмысленно говорить о количествах железа, меньших одного атома. Предполагают, что этот предел находится в районе  $10^{-14}$  см. «Рассмотреть» пространство на таких малых расстояниях можно, только изучая рассеяние частиц с очень высокими энергиями. Опыты на новосибирских ускорителях показали, что до расстояний  $10^{-13}$  см законы квантовой электродинамики еще справедливы.

Ускорители, кроме того, что они служат «микроскопами» физиков, являются еще и «фабриками» частиц. Чем больше энергия сталкивающихся частиц, тем большее разнообразие пар «дочерних» частиц может рождаться. «ВЭПП-2» дает возможность получать пары мю-мезонов, пи-мезонов, ка-мезонов, некоторые так называемые резонансные ча-

стицы, живущие лишь краткие мгновения. Эксперименты по исследованию этих частиц уже начались. Летом прошлого года в Париже на Международной конференции по встречным пучкам были доложены первые результаты.

## НЕТ НИЧЕГО НЕВОЗМОЖНОГО

Как взрыв, прозвучало на Парижской конференции сообщение Будкера о том, что в Новосибирске начато строительство ускорителя на встречных протон-антипротонных пучках. В нарушение всех традиций международных конференций советскому физики предложили сделать на эту тему дополнительный доклад, не ограничиваясь временем.

Объяснялось это просто. Если до самого последнего времени мало кто верил в получение больших позитронных токов, то накопление больших токов антипротонов даже не обсуждалось всерьез — считалось, что это лежит за пределами возможного. Ведь, с одной стороны, антипротоны «производить» существенно труднее, чем позитроны. Для этого нужны в тысячи раз большие энергии первичных частиц. И на каждые десять миллионов протонов рождается только один антипротон в нужном диапазоне энергии. Но самое главное вот что — антипротоны в отличие от позитронов практически не светятся в магнитном поле из-за своей большой массы. А именно то самое красивое свечение частиц, о котором мы уже рассказывали, позволяет накапливать позитроны. Из-за излучения света затухают поперечные колебания пучка позитронов, он сжимается в тоненький шнур и дает возможность впускать новые порции частиц.

Для того, чтобы сжать пучок антипротонов, нужно и для них найти аналогичное явление. Его нет в природе? Неважно, создадим искусственно. Пустим вдоль пучка антипротонов с такой

же средней скоростью плотный пучок электронов, предлагает академик Будкер. Тогда антипротоны, отдавая энергию своих поперечных колебаний электронам, будут стягиваться в тонкий шнур. Более наглядно картина выглядит в системе координат, в которой оба пучка в среднем покоятся (это возможно потому, что они движутся с одинаковыми средними скоростями). В этой системе координат пучки представляют собой два покоящихся газа с разными температурами. Как известно, температура пропорциональна кинетической энергии частиц. Поскольку антипротоны гораздо тяжелее электронов, антипротонный газ намного горячее электронного. Охлаждаясь на электронном газе, антипротоны «теряют» разброс скоростей, а это и означает, что пучок сжимается.

Какая же плотность электронного пучка нужна для этого? На первый взгляд она кажется недостижимой. Ведь обычно, чтобы затормозить пучок протонов с энергиями, о которых идет речь, требуются метры бетона. Но оказывается, что от того, что электроны долго «ноздря в ноздю» идут рядом с антипротонами, их взаимодействие усиливается в миллиарды раз, и плотность электронного пучка может быть «в рамках разумного».

Установка, в которой заложена эта идея, сейчас уже сооружается в Новосибирске. Построен экспериментальный корпус. Вырыт туннель для магнита, и на-

чато его изготовление. Энергия частиц в каждом пучке этого ускорителя будет 25 Гэв. Такая установка эквивалентна классическому ускорителю на энергию 1 200 Гэв.

На этом ускорителе можно будет получать все известные частицы и вести поиск новых, масса которых может в десять раз превышать массы частиц, рождаемых сегодня на самых крупных ускорителях. Если реально существуют кварки — истинно элементарные частицы, из которых, как считают некоторые теоретики, образованы все остальные «кирпичи» мироздания, — и если масса кварков не превышает 25 масс протона, то их можно будет обнаружить на новом сибирском ускорителе. Наконец, эта машина в принципе позволяет получать антигелий, антилитий, антиуглерод, получать все антиядра менделеевской таблицы, вплоть до антиматерии.

Сибиряки считают, что можно говорить о строительстве ускорителей с энергией по 1 000 Мэв в каждом встречном пучке. Такая машина будет эквивалентна классическому ускорителю с энергией в  $2 \cdot 10^6$  Гэв — в 200 тысяч раз больше, чем в дубненском синхрофазотроне! На этом ускорителе в принципе (вероятность, правда, не очень велика) можно будет получить всю «анти таблицу» Менделеева.

Все это, конечно, не значит, что завтра же «консервируют» строительство всех традиционных ускорителей,

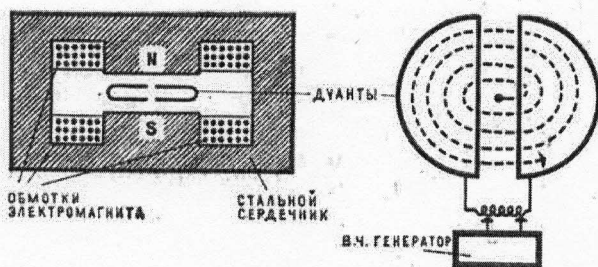
и наступит царство встречных пучков. Для большинства областей исследований, «старички» незаменимы. Главное их преимущество по сравнению с ускорителями на встречных пучках в том, что они дают возможность получать мощные пучки вторичных частиц. А круг исследований, для которых необходимы такие пучки, достаточно велик. Традиционные ускорители и установки на встречных пучках наверняка будут развиваться одновременно, дополняя друг друга, помогая друг другу.

Конечная цель исследований на ускорителях, в том числе и на сибирских, — создание теории ядерных сил и элементарных частиц, значимость которой для науки и практики трудно переоценить. Сегодня эти исследования носят абстрактный академический характер, идет поиск фундаментальных закономерностей строения материи. Напомним, что исследования семейства Кюри, Резерфорда, Ферми тоже казались современникам, да и им самим, чистой наукой, но привели со временем к овладению энергией атома. Недаром говорят, что нет ничего практичнее, чем хорошая теория.

Кто знает, может быть, когда-нибудь человечество будет использовать энергию частиц. Создание и антивещества — вещества, в котором все частицы заменены на античастицы, во всяком случае, теоретически представляется вполне реальным. А антивещество — горячее, калорийность кото-

**ЦИКЛИЧЕСКИЕ УСКОРИТЕЛИ** (циклотрон, синхротрон, фазотрон, микротрон, синхрофазотрон, бетатрон и др.). В них заряженные

частицы, двигаясь по круговым орбитам в магнитном поле, проходят много раз одни и те же ускоряющие устройства.



**ЦИКЛОТРОН** — ускоритель положительных ионов (протонов, альфа-частиц), которые двигаются по раскручивающейся спирали в постоянном магнитном поле. Ускорение происходит в зазоре между двумя дуантами — полукруглыми электродами, подключенными к высокочастотному (в. ч.) генератору.

**ФАЗОТРОН.** По конструкции этот ускоритель аналогичен циклотрону. Отличие в том, что частота в. ч. генератора изменяется (уменьшается) по мере ускорения частиц и уменьшения частоты их обращения (из-за увеличения массы).

рого в тысячу раз больше современного ядерного топлива и в миллиард раз больше нефти и угля.

Надо отметить одну немаловажную «деталь». Все сибирские ускорители разработаны и полностью изготовлены в Институте.

В Новосибирске под руко-

водством академика Будкера, по сути дела, возникла новая школа ускорительной техники, со своими традициями и самобытным почерком. Главная заслуга этой школы в том, что она сумела рассеять атмосферу недоверия и скептицизма к методу встречных пучков,

доказать его жизненность и перспективность. Ускорители на встречных пучках — это настоящий прорыв в микромир, и можно гордиться тем, что наши соотечественники идут во главе этого прорыва, с самого начала сохраняя ведущее положение.

## Второе рождение микротрона

Инженер-физик Ю. ЦИПЕНЮК.

Для многих исследований атомного ядра нужны частицы, ускоренные до сравнительно небольших энергий. И поэтому микротрон — один из лучших представителей семейства «карманных ускорителей» — наверняка займет почетное место во многих физических лабораториях. Однако вполне вероятно, что главную роль в карьере микротрона сыграет его «хобби». Этот ускоритель как сравнительно простой источник мощного и в то же время легко дозируемого потока излучений может найти широкое применение в медицине, химической и пищевой промышленности, дефектоскопии, сельском хозяйстве и в других областях.

Во всем мире папы катают своих детей на качелях совершенно одинаково, — периодически подталкивая качели. С точки зрения физика, папы «ускоряют» малыша — увеличивают амплитуду колебаний, кинетическую энергию. При этом:

ускорение производится не сразу, а постепенно, небольшими порциями (поднять малыша сразу на ту же высоту намного труднее!);

качели получают толчок, находясь всегда в одном и том же месте;

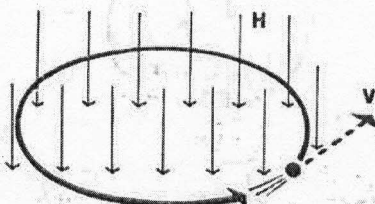
ускорение происходит в такт с движением качелей или, иначе говоря, резонансным образом.

Аналогично происходит ускорение частиц в современных циклических ускорителях. Энергию частицы увеличивают небольшими порциями, но повторяют такой процесс много раз. Само ускорение заряженных частиц производится электрическим полем (в нашем примере его роль играл папа) в момент, когда они проходят высокочастотный резонатор. Для того, чтобы ча-

стицы все время возвращались на вход резонатора, его помещают в постоянное магнитное поле.

Электрическое поле в резонаторе все время меняет знак, точно так же, как это происходит между обкладками конденсатора колебательного контура. Да и сам резонатор — это тот же колебательный контур, выродившийся на сверхвысо-

Если скорость заряженной частицы  $V$  перпендикулярна направлению постоянного и однородного магнитного поля  $H$ , то она движется по окружности. Чем больше энергия частицы, тем труднее магнитному полю удерживать частицу и тем больше радиус ее орбиты.



ких частотах в некую объемную деталь. Разумеется, электрическое поле в резонаторе в зависимости от его направления может ускорять либо тормозить заряды.

Пока скорость частицы мала по сравнению со скоростью света, время движения ее по круговой орбите не изменяется (скорость частицы растет, но растет и радиус ее орбиты). Можно подобрать магнитное поле так, чтобы время одного «оборота» было равно периоду изменения электрического поля, и тогда попадание частиц в резонатор будет происходить в такт с ускоряющим напряжением. Так работает «дедушка» современных ускорителей — циклотрон, который сравнительно недавно отметил свое тридцатилетие.

Однако попытки ускорить подобным способом заряженные частицы до больших энергий оказались безуспешными. На пути дальнейшего увеличения энергии встала теория относительности.