

Вл. Карцев ТРАКТАТ О ПРИТЯЖЕНИИ

вл. карцев

ТРАКТАТ

О

ПРИ  
ТЯЖЕ  
НИИ





Вл. КАРЦЕВ

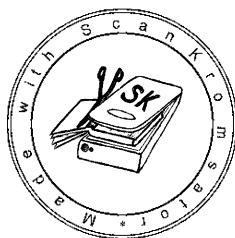
# ТРАКТАТ О ПРИТЯЖЕНИИ

или  
История  
геркулсова  
камня магнита  
от Синдбада-Морехода  
до термоядерных электростанций,  
содержащая любопытные факты, разъяснения,  
рассуждения и многочисленные иллюстрации



ИЗДАТЕЛЬСТВО «СОВЕТСКАЯ РОССИЯ» МОСКВА — 1968





Scan AAW

Несколько тысяч лет назад кабиры — так называли бродячих фокусников Древней Греции — странствовали по своей земле и давали удивительные представления. Одно из них всегда привлекало внимание зрителей — несколько тяжелых железных колец висели одно под другим, не падая и не отрываясь друг от друга. Казалось, невидимые могущественные силы поддерживали на весу эти кольца.

Притяжение магнита и в наши дни не потеряло своей чарующей таинственности. Вряд ли найдется на свете ученый, который возьмет на себя смелость утверждать, что он постиг природу этого явления. Но, несмотря на это, в использовании магнита уже сейчас сделаны большие успехи.

Термоядерный синтез, магнитогидродинамическое генерирование электроэнергии, ускорение заряженных частиц в синхрофазотронах, подъем затонувших судов — все это области, где требуются грандиозные, невиданные раньше магниты. Проблема магнита, его притяжения, проблема создания сильных, сверхсильных, ультрасильных и еще более сильных магнитных полей стала сейчас одной из основных в современной физике и технике.

О путях ее решения, о поисках и находках ученых, об их успехах и неудачах и расскажет автор в предлагаемой книге.



## ПРЕДИСЛОВИЕ

Эта книга — о магните и магнитных явлениях. Тема — благодарная для популярного изложения, особенно в том случае, когда к ней найден правильный ключ. Этот ключ в книге Вл. Карцева — большой фактический материал.

Современный читатель любого возраста очень ценит факты. В книге много фактов — исторических, физических, технических и просто анекдотов из жизни «мэтров». Легкая стилизация под старинные «трактаты» переносит читателя к временам Гильберта, когда, так же как и много раньше и много позднее, изучение и применение магнитных явлений явилось одним из важнейших двигателей науки и техники.

В книге есть и юмор, и темперамент, необходимые популяризатору.

Технические возможности применения магнитных явлений далеко не исчерпаны тысячами изобретателей.

Магнитный контроль стальных изделий без их разрушения (эта область применения насчитывает почти полвека), электромашиностроение и автоматика, магнитная гидродинамика плазмы и проводящих жидкостей, магнитные элементы вычислительных машин, использование сверхпроводников, магнитная штамповка, ускорители элементарных частиц — за каждым словом этого перечня кроется неисчерпаемое поле деятельности для изобретательного ума.

Магниты верно служат человечеству. Из этого можно сделать вывод о том, что многое в поведении магнитов нам ясно. Все ли?

Я взял на себя смелость набросать ниже небольшой список нерешенных научных вопросов магнетизма, которые в какой-то степени оправдывают эпитет «таинственный», применяемый автором по отношению к магниту:

1. Вопрос о свойствах магнитных материалов. Тут нет принципиальных неясностей, и быть может, зря автор «трактата» напоминает о неисчерпаемости свойств электрона. Электрон и ядра в этих проблемах могут рассматриваться как точечные заряды, движущиеся по уравнению Шредингера — Паули квантовой механики с малыми поправками теории относительности и с еще более малой поправкой на конечный объем ядра. Свойства диа- и парамагнетиков и с некоторой осторожностью, не зависящие от дефектов структуры кристалла, свойства ферромагнетиков в принципе уже ясны. Очень много известно также о структурных факторах, определяющих вид кривой намагничивания реальных магнитных материалов. Быстрый прогресс физики твердого тела, математических методов проблемы многих тел, изучение других «структурно-чувствительных» свойств твердых тел (например, их механических свойств) обещают

выяснение всех неясностей настолько быстрое, насколько это диктуется практическими потребностями. Конечно, научная работа в этом направлении очень важна и интересна, обещает большую практическую отдачу.

2. Неизвестно, существуют ли изолированные магнитные полюса («монополь Дирака»), магнитный аналог электрического заряда. Если не существуют, то почему?

3. Неизвестно, почему волны, переносящие взаимодействие с нулевой массой (фотоны), являются поперечными, электромагнитными, а не продольными, подобно звуковым. В этом случае магнитных явлений не существовало бы.

4. Не изучено действие магнитного поля на живые организмы и другие коллоидные системы. Научные результаты в этой области часто противоречат друг другу и здравому смыслу. Здесь неисчерпаемое поле деятельности для настоящих ученых, лишенных предвзятости и стремления к сенсационным открытиям. Практическое значение таких исследований для биологии и медицины может быть очень велико.

5. Не завершены и исследования сверхпроводимости, одного из важнейших направлений в современной науке и технике, которое также может быть отнесено к магнетизму.

6. Нет теории земного и солнечного магнетизма и других магнитных космических явлений.

В заключение одно замечание «личного характера». Вл. Карцев пишет о работе Сахарова с сотрудниками по получению сверхсильных магнитных полей при взрывах. Действительно, я выдвинул в 1951 году идею таких опытов, настаивал на их постановке. Однако я не экспериментатор, и опыты проводились без моего непосредственного участия. Фамилии основных участников и руководителей этих очень трудных именно в конструкторско-экспериментальном смысле работ указаны в имеющихся публикациях: Доклады АН СССР 165(1), 65 (1965). Успехи Физических наук, 88, 726 (1966).

Кроме того, предложения, аналогичные моему, делались и ранее (как мне стало сейчас известно, например, В. К. Аркадьевым и другими), однако только в 50-х годах экспериментальные исследования сделали возможным осуществление этих идей.

Я надеюсь, что возможности следующего поколения ученых и изобретателей значительно превзойдут существующие сейчас.

Мне кажется, что очень многие с интересом прочтут книгу молодого ученого, кандидата технических наук Вл. Карцева, и свойственное почти каждому изумление и восхищение чудесами магнетизма получат новое подкрепление, что, быть может, в конце концов приведет к рождению новых изобретателей или ученых.

Академик А. Д. Сахаров



**ВВЕДЕНИЕ,**  
**в котором автор**  
**приводит несколько примеров,**  
**ясно говорящих о том,**  
**что загадка магнита —**  
**одна из древнейших загадок для человека —**  
**еще не разгадана,**  
**однако она будет разгадана,**  
**потому что это необходимо**

*Стану ли я отказываться от обеда  
только потому, что не представляю  
во всех деталях процесса пищева-  
рения!*

*О. Хэвисайд*

...Серебряная стрела космической ракеты нацелена в голубую неизведанную высь. Сегодня будет сделан новый шаг на пути в космос. На этот раз маршрут корабля пролегает прямо сквозь смертоносные сгустки радиационных поясов. Однако космонавтам не придется опасаться радиации — ведь и в иллюминаторы их корабля видна необычная спираль, широкими витками описывающая ракету...

...Грохочущая лавина плазмы, преодолевая поле мощного магнита, рождает в раскаленном канале электрическую энергию. Эксперимент проходит блестяще. Впервые к.п.д. магнитогидродинамического генератора стал выше, чем у любого другого генератора. Но ведь так и должно быть? Должно быть, но не было до сих пор. Дело в том, что раньше всю энергию МГД-генератора пожирал магнит установки. Как только ученые поставили на установке новый электромагнит, произошла революция в энергетике...

...На очередной конференции по ускорителям представитель Женевского центра рассказал о новом сверхмощном ускорителе, спроектированном его организацией. Ускоритель протонов на энергии порядка миллиона миллионов электрон-вольт будет иметь вес в сто тысяч тонн, его диаметр будет составлять пять километров, а питание будет осуществляться от собственной мощной электростанции. Докладчику долго аплодировали. После перерыва молодой физик, запинаясь от волнения, стал рассказывать

с трибуны о каком-то пигмее из царства ускорителей весом в тонну и размером в кухонный стол.

Первый докладчик снисходительно спросил:

— Простите, а какова энергия протонов в вашей машине?

— В два раза больше, чем в вашей,— ответил молодой физик, заливаясь краской.— Просто я использовал более мощные магниты...

Все это пока мечты. Но мечты, которым суждено сбыться. Вся логика многовековой истории магнита говорит за это.

Мы привыкли к магнитам, встречая их буквально на каждом шагу — в компасе, вмонтированном в кожаный ремешок для часов, и в гигантском генераторе ГЭС, в лаборатории физика и кабинете врача, в электробритве и жестянке с гвоздями.

И все же магнит не перестает быть загадкой, занимающей умы лучших ученых.

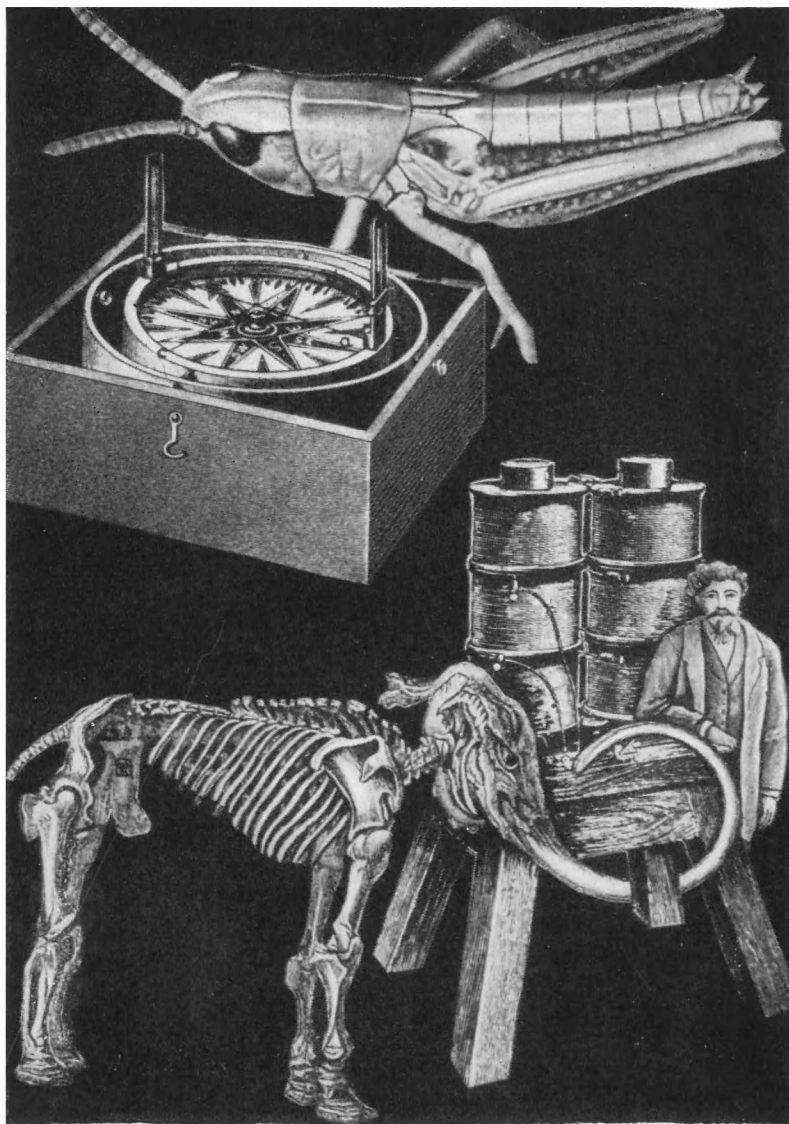
Почему магнит притягивает? На этот вопрос сейчас не даст исчерпывающего ответа и самый авторитетный академик, так же как не могли ответить на него люди, жившие несколько тысяч лет назад.

Века не принесли полной разгадки, но многое уже понято, и все это понятое позволяет неизмеримо превзойти то, что подарила нам природа. Не понимая полностью сути процессов, приводящих к притяжению магнитом других тел, люди тем не менее научились сами создавать такие магниты, которые могут поспорить с уникальными творениями природы.

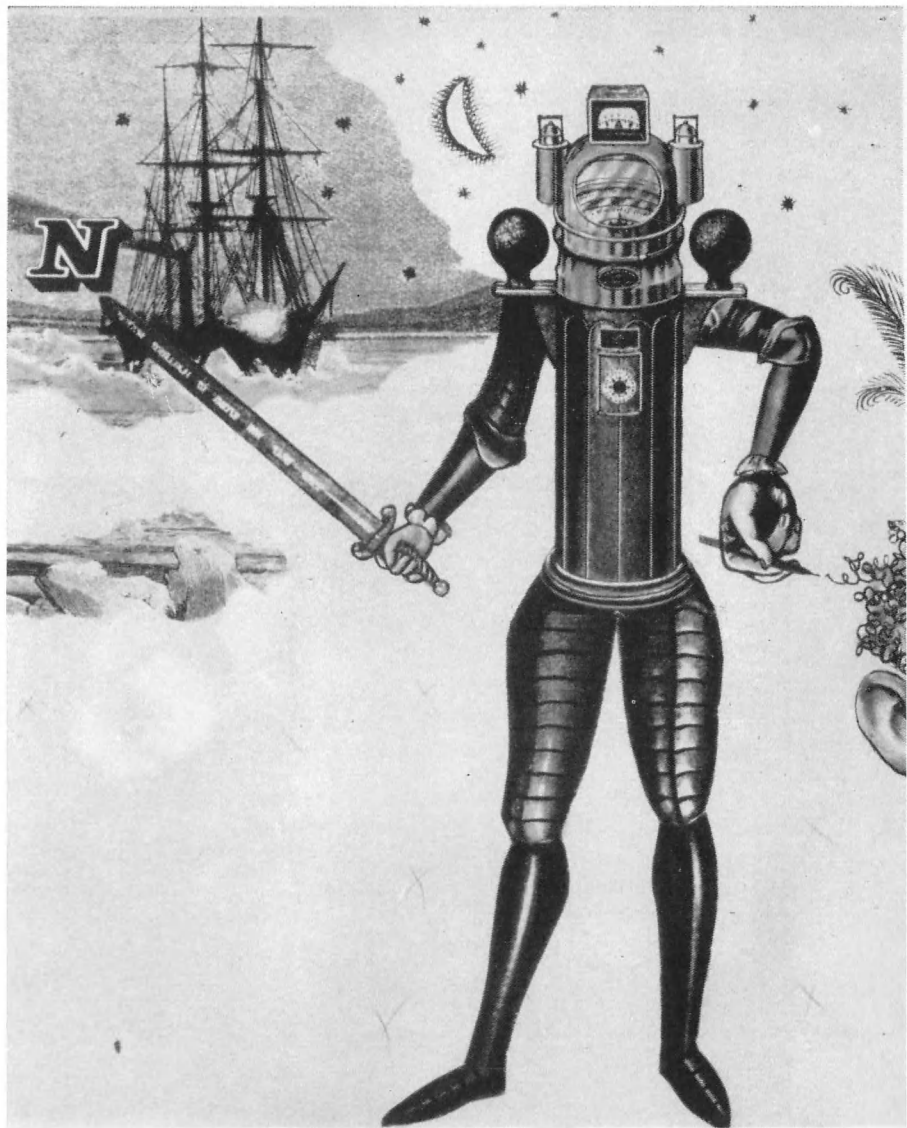
Автору хотелось бы, чтобы путешествие в мир магнитов было интересно читателю — ведь в этом мире, как и во всяком другом, есть потери и находки, радости открытия и горести разочарований, бесплодные годы раздумий и ослепительные моменты прозрения.

Автору хотелось бы, чтобы читатель почувствовал то беспокойство, которое владеет физиками: от магнитов зависит очень многое, и они должны быть все крупнее и мощнее.

Автору хотелось бы, чтобы читатель, закрыв книгу, другими глазами посмотрел на ставшие привычными магниты, поверил в интригующую таинственность их природы и величественность их будущего...



Эта книга — о магнитах. Больших и маленьких. Сильных и слабых. Старинных и ультрасовременных. Мертвых и живых.



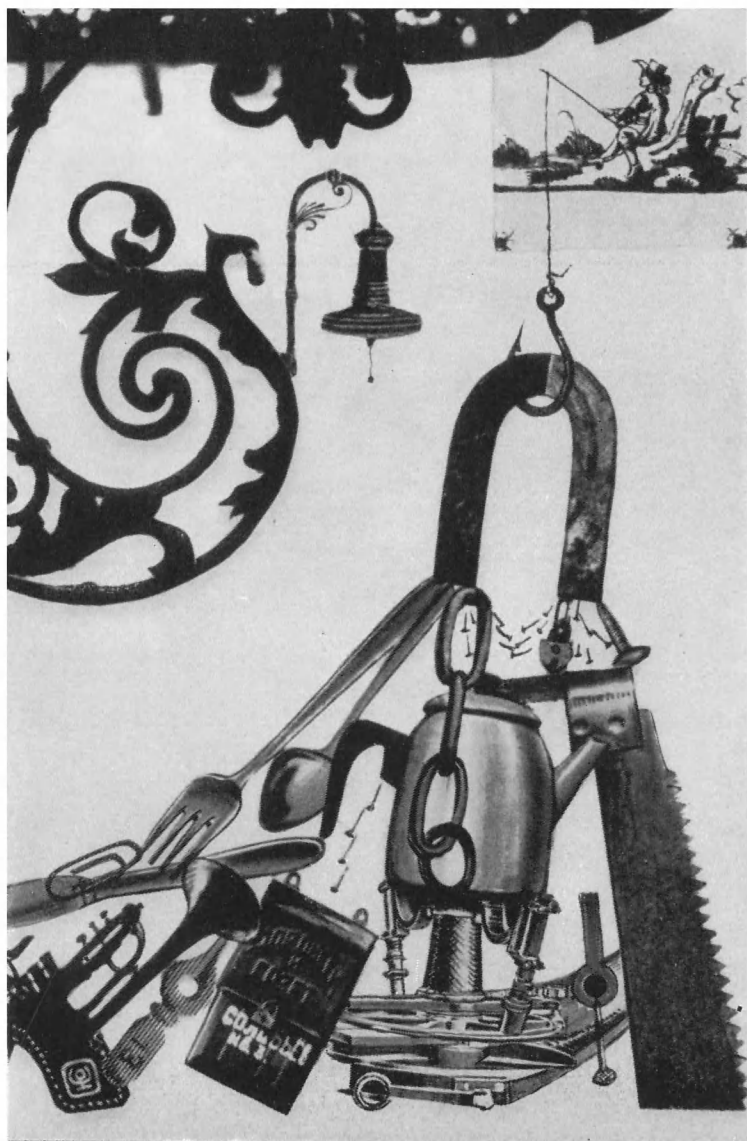
...Маленькой дрожащей стрелке, с одной стороны выкрашенной в черный цвет, с другой — в красный, мы обязаны удивительными открытиями. Неизвестные миры, таинственные животные, благоухающие острова, ледяные континенты и нетронутые цивилизацией народы предстали перед глазами изумленных «водителей фрегатов», сверявших свой путь с маленькой стрелкой компаса...

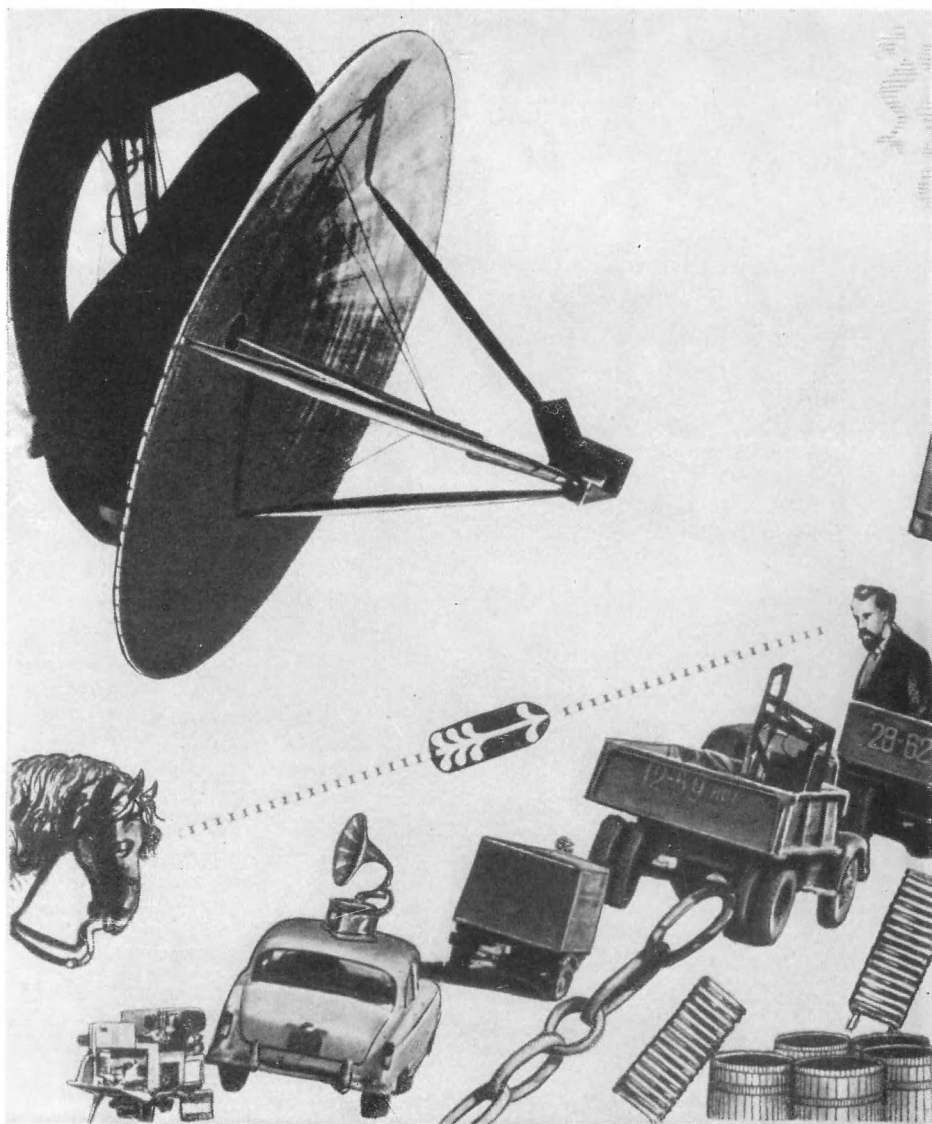




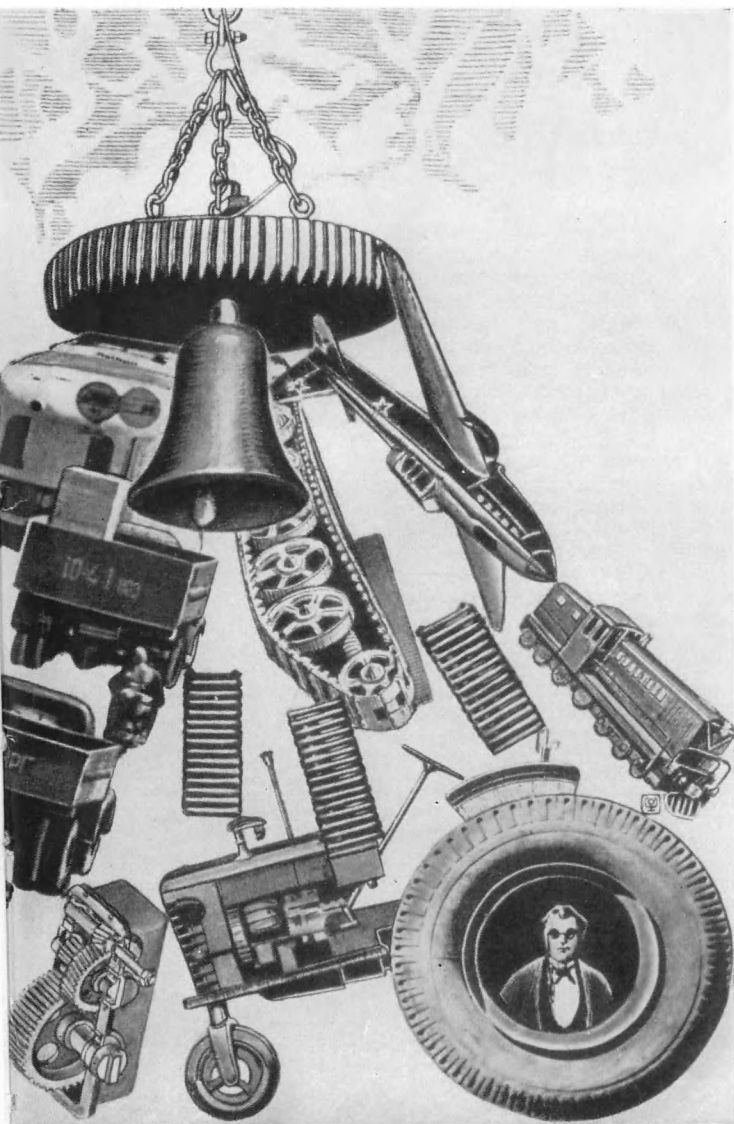


...Альберт Эйнштейн на всю жизнь запомнил тот день, когда ему, четырехлетнему ребенку, подарили новую игрушку — компас. На всю жизнь сохранил он детскую удивленность чудесными свойствами магнита, теми самыми свойствами, которые тысячи лет назад волновали наших предков. Волшебная загадка притяжения магнита и сейчас занимает умы ученых...





Вряд ли когда-нибудь найдется человек, который возьмет на себя смелость утверждать: «Я постиг загадку магнита!» Однако учеными, познавшими удивительно небольшую толику тайны, смогли быть построены устройства, способные соперничать с самыми сильными магнитами, созданными природой.



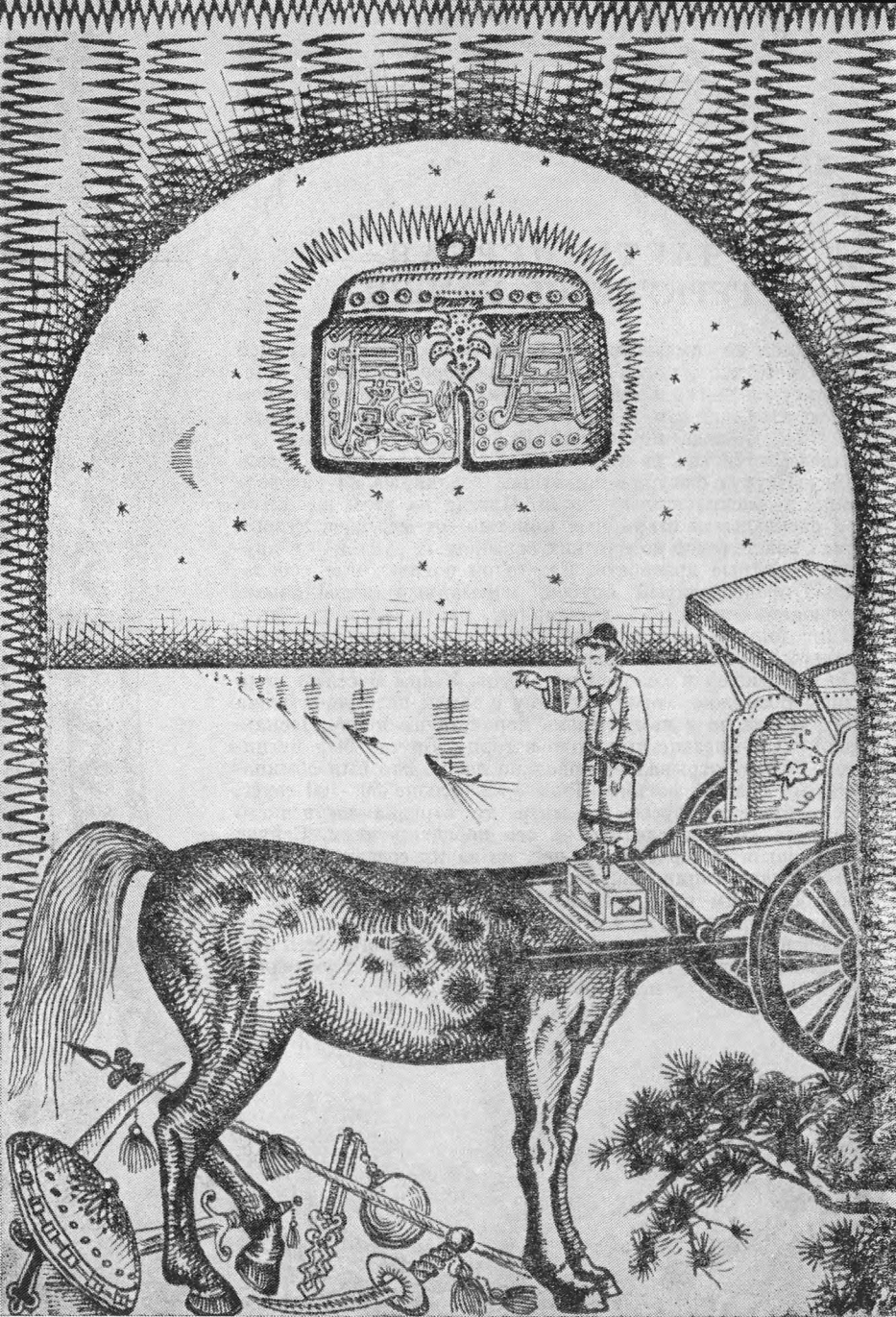






## ЧАСТЬ ПЕРВАЯ. ГЕРКУЛЕСОВ КАМЕНЬ

На одном из самаркандских базаров, пропахших корицей и пловом, часто сидел древний белобородый старик в белоснежной чалме и тонкой выделки халате, подпоясанном цветастым платком. Я знал его — это был хранитель мечети Шах-и-Зинда почтенный Емон Кузи. На базаре он сидел безучастно, разложив перед собой на лотке к празднику Науруз фигурки животных, сделанные из рисового теста и раскрашенные лаком. Иногда на этом же лотке он раскладывал старинные монеты — от медяшек кушанских властителей до царских серебряных рублей — и другие музейные древности. Как-то он показал мне небольшой продолговатый брусок, изрезанный затейливыми украшениями. «Это — священная нарса, — сказал он, — Минг йиллар — тысяча лет. Купишь — всегда здоровый, сильный будешь». Я повертел узорчатый брусок в руках. Он был тяжел и холоден на ощупь. Узоры местами стерлись. Возможно, этому брусочку в самом деле уже тысяча лет. Я поднес к нему лезвие перочинного ножа. Несильный стук — лезвие прилипло к торцу. Брусок был магнитом. Лезвие отрывалось довольно легко. Это был обыкновенный слабый магнит. Поле — не больше 50—100 гаусс. Если отнести брусок на метр, то стрелка не всякого компаса сможет следить за его передвижением. Сейчас есть магниты гораздо сильнее, но за их созданием стоят века цивилизации. То, что показывал Емон Кузи, было обработанным и украшенным куском магнетита — материала, встречающегося в некоторых железорудных месторождениях. Такие магниты известны уже много сотен лет. А может быть — тысяча? И я решил по книгам проследить историю магнита.



## ПОДАРОК ИМПЕРАТОРА ЧЕУ КУНА

В этой главе описываются названия магнита, говорится о «Сказках тысяча и одной ночи», упоминается о летающей фигуре Арсинои и разоблачаются претензии одного итальянского ювелира.

Итак, литература о магните. Ее неожиданно много. О магните в той или иной связи писали Пифагор (VI в. до н. э.) и Аристотель (III в. до н. э.), Гиппократ (V в. до н. э.) и Гален (II в. до н. э.), Платон (V в. до н. э.) и Эпикур (IV в. до н. э.), Плутарх (I в. до н. э.) и Птоломей (II в. н. э.), Лукреций (I в. до н. э.) и Плиний (I в. н. э.).

Оказалось, что природные магниты, попросту говоря, кусочки магнитного железняка — магнетита (химический состав: 31% FeO и 69% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) не везде назывались магнитами; в разных странах магнит называли по-разному.

Китайцы называли его «чу-ши»,  
греки — «адамас» и «каламита», «геркулесов камень»,  
французы — «айман»,  
индусы — «тхумбака»,  
египтяне — «кость Ора»,  
испанцы — «пьедрамант»,  
немцы — «магнесс» и «зигельштейн»,  
англичане — «лоудстоун».

Добрая половина этих названий переводится как «любящий», «любовник». Так поэтичным языком древних описано свойство кусков магнетита притягивать железо.

Название «магнит», как утверждает Платон, дано магнетиту Эврипидом. По другой, значительно более красивой и известной, но менее правдоподобной притче Плиния (заимствованной им у Никандра) название дано в честь сказочного волопаса Магниса, гвозди от сандалий и железная палка которого прилипали к неведомым камням.

По иным сведениям, слово «магнит» происходит от названия провинции Магнезия (сейчас Манисса), жителей которой звали магнетами. Так утверждает Тит Лукреций Кар в своей поэме «О природе вещей». Русский путешественник В. А. Теплов, посетивший Магнезию в 80-х годах прошлого века, утверждал, что на горе Сипил до сих пор встречаются образчики этого

камня, а сама гора давно известна частыми ударами в нее молний (этим же славилась и гора Магнитная на Урале, почти целиком состоявшая из магнетита). Наиболее распространенная из сказок о чудодейственной силе магнита, вошедшая в «Сказки тысяча и одной ночи», заимствована у Плиния, который утверждал, что в Эфиопии существует гора Зимир, вытягивающая из кораблей все гвозди и железные части.

Китайский фольклорист Су Ма-тзен собрал много лет назад библиотеку старинных летописей. Вот сведения из этих летописей, посвященные магнитам:

Император Хуанг Ти, живший за 2000 лет до фольклориста, в густом тумане напал на противника с тыла и разбил его. Ориентироваться в тумане Хуанг Ти помогли установленные на повозках фигурки с вытянутой рукой, всегда показывавшей на юг.

Император Чеу Кун решил отблагодарить послов далекого Юе-Чана (Вьетнама) за знаки внимания и дружбы, выразившиеся в виде приношения белых фазанов, подарив им пять дорожных колесниц, устроенных так, что они всегда указывали на юг. Послы Юе-Чана отправились в путь на этих колесницах, достигли берега моря, миновали Фх-Нам и Лин-И и год спустя прибыли к себе на родину...

Возможно, что в этих легендах, относящихся к 1110 году до н. э., содержится первое упоминание о компасе, то есть полезно использованном магните.

Видимо, в дальнейшем секрет изготовления магнитных колесниц с югоуказателем затерялся, поскольку в V веке н. э. «император Тай-Ву-Ди династии Вей приказал Куо-Ченг-Мингу построить такого рода колесницу. Он работал в течение целого года, но безуспешно. Тогда император поручил это дело Ма-Йо, которому действительно удалось ее соорудить. За это Куо-Ченг-Минг отравил его ядом перьев птицы чин. Конструкция Ма-Йо была признана превосходной».

Неизвестно, была ли конструкция Ма-Йо идентичной древним конструкциям.

Но даже и в том случае, если по причинам научной строгости нельзя «засчитать» эту древнюю легенду, относящуюся к 1110 году до н. э., как первое упоминание о магнитном компасе (мало ли на каком принципе, может быть, не открытом и по сей день, работали эти югоуказатели!), жителям Древнего Востока все равно нужно отдать дань в первом полезном использовании магнита. Так, в энциклопедии 121 года до н. э. Гуи Чин впервые описывает и магнит и магнитную иглу. В летописи

XI века прямо свидетельствуется о том, что «предсказатели на-тирают конец иглы магнитным камнем, чтобы создать ей свойство показывать юг».

Эти обстоятельства не смогли помешать итальянцам построить в Неаполе памятник жителю города Амальфи Флавио Джойя, который якобы изобрел магнитный компас в 1302 году, и отпраздновать в 1902 году шестисотлетие открытия. Против Джойя говорят хотя бы упоминания о компасе монаха св. Альбана Александра Некэма в 1187 году и стихи поэта Гьюо Прованского, написанные в 1206 году.

Однако красивая легенда о Флавио Джойя, изобретателе компаса, до сих пор живет у итальянцев:

...Давным-давно, когда город Амальфи стоял, как и Венеция, на море, жил в нем Флавио Джойя, ювелир и инкрустатор. Он был беден и весел, а кроме того, любил Анджелу, дочь богатого рыбака Доменико.

Рыбак Доменико не хотел, чтобы его дочь вышла замуж за «сухопутного» Джойя, и поставил перед Флавио тяжелое условие — научиться плавать по прямой линии в тумане и в ночи. Ясно, что это условие невыполнимо: попробуйте погрести пять минут, закрыв глаза, — наверняка приплывете туда, откуда отплыли.

Но Флавио был не из тех, кто унывает. В работе для инкрустирования маленькими кусочками железа он использовал магнитный камень. Как-то Флавио заметил, что, если положить этот камень на кусочек пробки, плавающей в воде, он поворачивается всегда в одну сторону. Так, по легенде, Флавио изобрел компас.

Через месяц он женился на красавице Анджеле. Флавио получил Анджелу, рыбаки получили компас...

Если подходить к этому поэтическому эпизоду с исторических позиций, может быть, следует предположить, что хотя Джойя и не изобрел компас, но, вероятно, именно он дал компасу его современный вид, снабдив диском с делениями — картушкой.

Из других древнейших упоминаний о магнитах следует выделить рассказ Маттиала о часовне Магомета с магнитным сводом, под которым парит железный сундук с прахом пророка. Однако путешественникам ни разу не пришлось увидеть этой гробницы.

Плиний писал, что александрийский архитектор Хинократ начал делать свод храма Арсиной из магнитного камня, для того чтобы железная фигура Арсиной висела в воздухе; этот замысел не был, по-видимому, осуществлен из-за смерти Хинократа и



брата Арсинои, Птолемея, который, как сейчас говорят, «финансировал» это предприятие<sup>1</sup>.

Даже из этого краткого обзора видно, что магнит был очень хорошо известен древним. Мало того, магнитные свойства уже тогда широко использовались.

И все-таки... почему? Почему магнит — магнит? Идеалист Платон объявил, что свойство магнита — божественное, и тем самым избежал раздумий и сомнений.

Платон, например, писал:

«...Божественная сила магнита передается от железа к железу подобно тому, как вдохновение музыки передается через поэта его рассказчику и слушателю». Объяснение эпикурейца Лукреция Кара явно более убедительно, хотя, с современных позиций, наивно. Мы приводим ниже эту несколько затянутую цитату из Лукреция ввиду ее исключительной ценности. Ведь эти гексаметры насчитывают уже более двух тысяч лет!

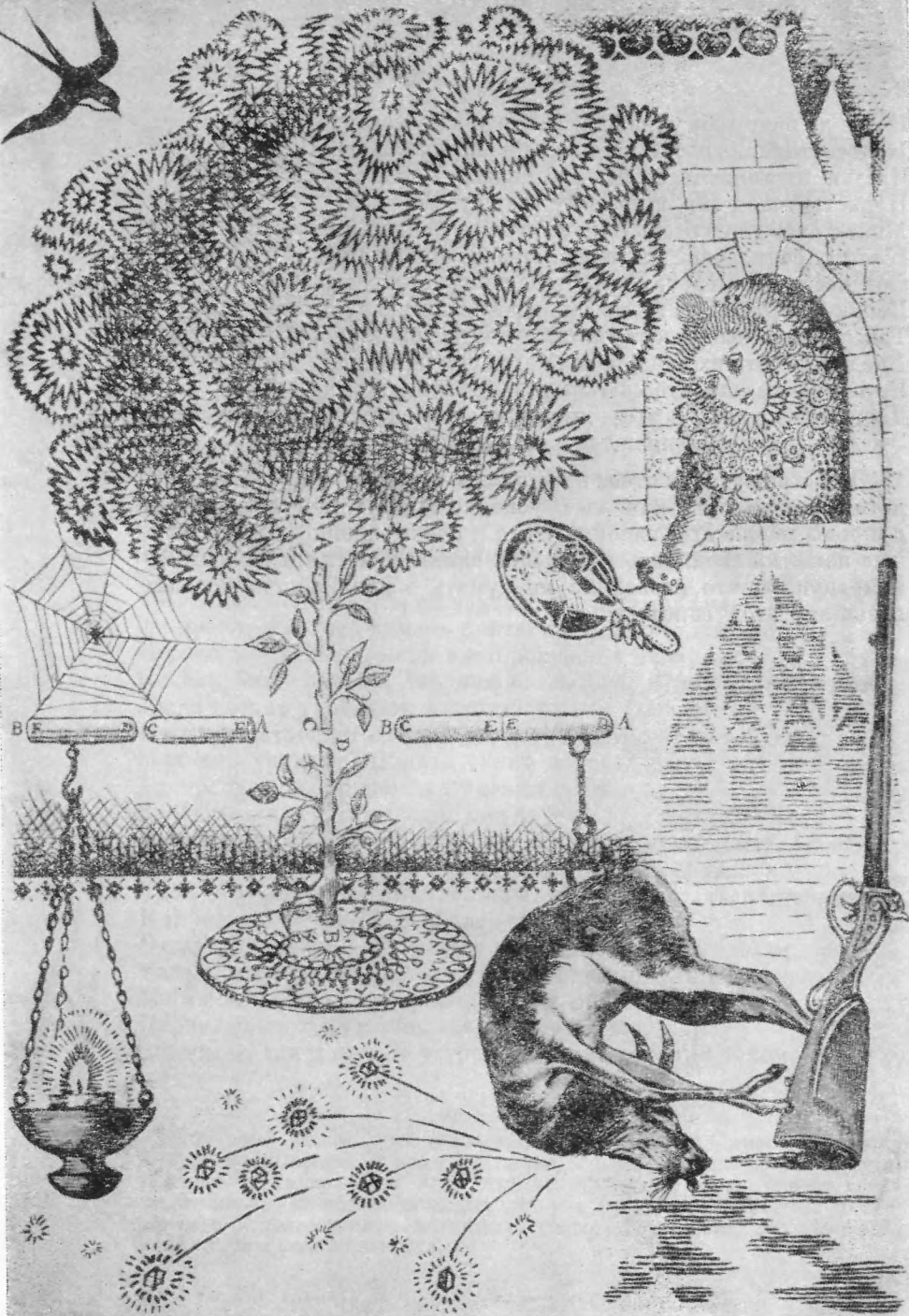
«Мне остается сказать, по какому закону природы  
То происходит, что камень притягивать может железо.  
Камень же этот по имени месторождения магнитом  
Назван был греками, так как он найден в пределах магнетов.  
Люди весьма удивляются камню такому. Он часто  
Цепь представляет из звеньев, держащихся сами собою.  
Можешь увидеть ты пять таких звеньев, порой даже больше.  
Распределенные рядом, качаясь от легкого ветра,  
Звенья такие свисают, одно под другим прилепившись.  
Звенья одно от другого всю силу и цепкость приемлют.  
Вот как здесь действует этого камня текучая сила...  
Прежде всего из магнита должны семена выделяться множеством  
Или же ток истекать, разбивая толчками  
Воздух, который везде между камнем лежит и железом  
Только что станет пустым пространство меж ними, и много  
Места очистится там, как тотчас же, общею кучей  
Первоначала туда стремглав понесутся железа;  
Следом за тем и кольцо устремляется всем своим телом.

---

<sup>1</sup> В этой связи представляет интерес заметка, промелькнувшая в журнале «Юность». В ней сообщается, что на выставке молодых архитекторов и скульпторов идея «храма Арсинои» вновь обрела своих защитников — несколько молодых авторов представили проекты памятников с использованием магнитных сводов, безусловно, гораздо более мощных, чем свод Хинократа.

Вовсе не надо тебе удивляться, что ток из магнита  
Не в состоянии совсем на другие действовать вещи:  
Частью их тяжесть стоять заставляет, — как золото, — частью  
Пористы телом они, и поэтому ток устремляться  
Может свободно сквозь них, никуда не толкая при этом;  
К этому роду вещей мы дерево можем причислить.  
Среднее место меж тем и другим занимает железо...  
Вещи, в которых их ткань совпадает взаимно с другою,  
Так, что где выпуклость есть, у другой оказалась бы там же  
Впадина, — эта их связь и окажется самою тесной.  
Есть и такие еще, что крючками и петлями будто  
Держатся крепко, и этим друг с другом скрепляются вместе.  
Это скорее всего происходит в железе с магнитом...»

Эти строки являются, пожалуй, к середине второго тысячелетия нашей эры наиболее успешной попыткой объяснения природы магнитных явлений, хотя и очень наивной. Все остальные попытки сводились к существованию у магнита божественной «души», что позволяло не думать о дальнейших доводах в защиту этой гипотезы.



## ГИЛЬБЕРТ

**В этой главе автор касается очень разобщенных тем. Что случится с магнитом, если положить рядом с ним бриллианты. Что такое терра и терреиллы. Почему магнит — магнит. Дело в душе — отвечает Гильберт.**

*Гильберт будет жить, пока магнит  
будет притягивать.*

*Д. Драйден*

Стратфорд на Эйвоне, 1965 год... Выставка «Шекспир и его время». Мне было вдвойне интересно посетить ее, поскольку я только-только начал собирать материал о Гильберте. А Гильберт и Шекспир почти сверстники. Поэтому «...и его время» было для меня очень кстати.

...Пестрые россыпи туристов, прилавки с сувенирами остаются позади. Вы машинально протягиваете контролеру свой билетик, делаете шаг по пластиковому полу сквозь алюминиевый короб ультрасовременной двери и оказываетесь в... 16-м веке. С темных, старательно закопченных сводов свисают масляные светильники. На стенах — заржавленные двуручные мечи и прорубленные от плеча до пояса кольчуги. Только что смолкли шумные схватки закованных в броню трусливых приверженцев Алой и Белой Роз. «Старая добрая Англия» еще не подозревает о том, что где-то далеко, за студеными морями есть такая страна — Россия. В это смутное время в небольшом английском городке Стратфорде в семье Джона Шекспира рождается сын Вильям... Другому Вильяму, Гильберту, который прославится впоследствии как первый человек, посмотревший на магнит с научных позиций, исполняется в это время двадцать четыре года.

Детство его не отличалось, наверное, от детства Шекспира. В зале «Детство» человечки из папье-маше, замерев, перепрыгивают через палки, пляшут под свирель и играют в бабки.

Потом дороги их расходятся. Шекспир оканчивает обычную школу с латынью и греческим, преподносимыми учителем-педантом, одетым в ослепительно белые носки и шляпу, и восемнадцати лет женится на двадцатилетней Анне Гесуе.

Гильберт после школы поступает в колледж святого Джона в Кембридже, через два года становится бакалавром, через

четыре — магистром, через пять — доктором медицины. Гильберт всю жизнь был убежденным холостяком.

Вскоре после женитьбы Шекспир от «счастливой семейной жизни» уезжает в Лондон. В это время миллионы англичан пали жертвой страшной эпидемии чумы. Зал чумы — один из самых страшных на выставке. Громадная, натуралистически выполненная зараженная туша быка висит на площади. В грубо сколоченных клетках заперты навечно зачумленные. Через скрытые в стенах репродукторы непрерывно передаются ропот средневековой толпы, ржание перепуганных лошадей, плач женщин и детей, нагнетающие подавленное настроение.

А Лондон все равно веселится. Королева Елизавета, слывшая непорочной, хотела взять от быстротечной жизни все, что можно. Поводом для веселья был разгром испанской «непобедимой армады». Фаворит королевы граф Эссекс делает все, чтобы королеве было весело. Театры создаются десятками. В одном из них присматривает за лошадьми посетителей Вильям Шекспир.

Вильям Гильберт к тому времени достиг гораздо большего. Он присматривает за... самой королевой Елизаветой. Вильям Гильберт стал лейб-медиком королевы.

Трудно сказать, почему именно медик написал первую научную работу по магнетизму. Может быть, это было связано с тем, что толченый магнит у средневековых лекарей считался... сильным слабительным. Сам Гильберт считал, что магнитное железо «...возвращает красоту и здоровье девушкам, страдающим бледностью и дурным цветом лица, так как оно сильно сушит и стягивает, не причиняя вреда».

Однако горький опыт показал Гильберту, что магниты при приеме внутрь иногда «...вызывают мучительные боли во внутренних органах, чесотку рта и языка, ослабление и сухотку членов».

Может быть, экскурсии Гильберта в природу магнетизма и были порождены желанием узнать, где истина — является магнит лекарством или нет. Гильберт приходит к выводу, что «природа магнита двойственная, и больше — злобная и пагубная». По пути к этому выводу Гильберт делает ряд других, значительно более ценных. Что было известно в Европе о магните до Гильберта?

В 1269 году Пьер Перегрин из Марикурта во время вынужденного безделья при осаде небольшого итальянского городка Люцера написал книжку «Письма о магните», в которой собрана масса сведений о магните, накопившихся до него и открытых им лично. Перегрин впервые говорит о полюсах магнитов, о притяжении («совокуплении») разноименных полюсов и от-

талкивании одноименных, об изготовлении искусственных магнитов путем натирания железа естественным природным магнитом, о проникновении магнитных сил через стекло и воду, о компасе. Причину притяжения южного и северного полюсов Перегрин и его последователи объясняли довольно туманно: «Южная часть притягивается той, которая имеет свойства и природу севера, хотя они обе имеют одну и ту же специфическую форму. Однако это не исключает некоторых свойств, существующих более полно в южной части. Но эти свойства северная часть имеет лишь в возможности, и поэтому они при этой возможности и проявляются».

Ценность этой точки зрения заключалась в том, что она, наводя на размышления, привела средневекового мыслителя Аверроэса к гениальной догадке. По его мнению, естественный магнит искажал ближайшее к нему пространство в соответствии с его формой. Ближайшие к магниту области среды в свою очередь искажали ближайшие к ним, и так до тех пор, пока эти «специи» не достигали железа. В этих рассуждениях впервые дан намек на магнитное поле — особую форму материи.

До Гильберта было известно и явление «старения магнитов». Так, алхимик Гебер (XII в.) пишет: «У меня был магнит, поднимавший 100 драхм железа. Я дал ему полежать некоторое время и поднес к нему другой кусок железа. Магнит его не поднял. В куске оказалось 80 драхм. Значит, сила магнита ослабла».

К другим важнейшим догильбертовским событиям можно отнести открытие в XIV веке магнитного склонения и открытое Колумбом (1492 г.) изменение склонения магнитной стрелки на одной и той же параллели, а также открытие магнитного наклонения Георгом Гартманом (Нюрнберг, 1544 г.).

Кроме этого, о магнитах было известно следующее:

под хвостом Большой Медведицы имеется магнитный камень; прием магнита внутрь «в малых дозах» продлевает молодость; если положить магнит под голову спящей женщины, он сбросит с постели прелюбодейку;

магнит открывает запоры и замки;

днем магнит притягивает сильнее, чем ночью;

если потереть магнит чесноком или положить рядом с ним бриллианты, его сила исчезает;

если же помазать магнит кровью козла, его сила восстанавливается;

магнит, хранимый в рассоле из рыбы прилипалы, обладает силой извлекать золото, упавшее в самые глубокие колодцы;

есть магниты, притягивающие серебро, алмазы, яшму, стекло и даже «мясные» и «деревянные» магниты, и т. д. и т. п. в частности, в заволжских степях существует растение, имеющее ноги и называющееся «баранец», притягивающее к себе овец, а затем безжалостно пожирающее их.

Разобраться во всех этих утверждениях и отделить зерна от плевел предстояло Вильяму Гильберту, придворному медику.

В течение 18 лет он на собственные деньги ставит бесчисленное количество опытов, которые в конце концов описываются в книге «О магните, магнитных телах и о большом магните — земле. Новая физиология, доказанная множеством аргументов и опытов», вышедшей в 1600 году. И сам Гильберт и его современники чрезвычайно высоко оценивали этот труд. Так, Гильберт впервые в практике книгопечатания ставит свое имя впереди названия книги, подчеркивая тем самым свои заслуги.

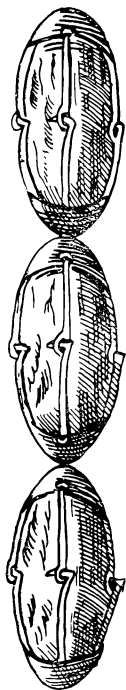
Заслуги его действительно велики. Самой значительной из них явилось то, что он впервые в истории, задолго до Бэкона, провозгласил опыт критерием истины и все положения проверял в процессе специально поставленных экспериментов.

Изготовив из магнетита шар — терреллу (землицу), Гильберт заметил, что этот шар по магнитным свойствам сильно напоминает землю. У терреллы так же, как у терры (земли) оказались северный и южный полюсы, экватор, изолинии, магнитноеклонение. Эти обстоятельства позволили Гильберту провозгласить Землю «большим магнитом». До Гильберта о магнетизме Земли никто не подозревал, и притяжение южного черного конца магнитной стрелки<sup>1</sup> к северному полюсу Земли объяснялось в средние века тем, что «железо направляется к северным звездам, так как ему обща сила полярных звезд, подобно тому как за солнцем следуют растения, например подсолнечник».

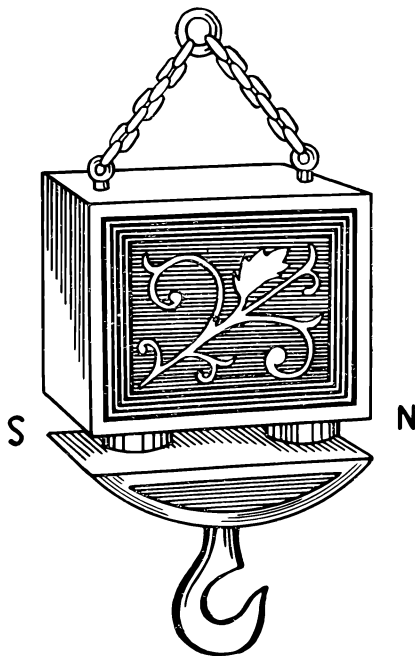
Гильберт опроверг широко распространенное мнение о влиянии алмазов на магнитные свойства. Он собрал 17 крупных

---

<sup>1</sup> Кстати, а почему южный конец магнитной стрелки — красный, а северный — черный? Не исключено, что здесь мы используем древнекитайские традиции. Китайцы всегда окрашивали южный конец стрелки в красный цвет. В древнем ассирийском календаре времен Александра Македонского север называется черной страной, юг — красной, восток — зеленой и запад — белой. Городские ворота в Китае окрашивались всегда в соответствии с этим правилом. Вполне вероятно, что такое обозначение стран света было в то время общепринятым, и отголоском этого являются названия Черного и Красного морей, лежащих на юг и север от центрального — Средиземного.



Старинные естественные магниты в «шлемах».



Крупный старинный естественный магнит в оправе.

алмазов и в присутствии свидетелей показал, что алмазы никоим образом не влияют на магниты.

Он открыл, что при нагревании магнита выше некоторой температуры его магнитные свойства исчезают; впоследствии эта температура ( $588^{\circ}\text{C}$ ) была названа точкой Кюри, в честь Пьера Кюри.

Гильберт открыл, что при приближении к одному полюсу магнита куска железа другой полюс начинает притягивать сильнее. Эта идея была запатентована лишь через 250 лет после смерти Гильберта Сименсом.

Гильберт открыл, что предметы из мягкого железа, в течение долгого времени лежащие неподвижно, приобретают намаг-



ниченность в направлении север — юг. Процесс намагничивания ускоряется, если по железу постукивать молотком<sup>1</sup>.

Гильберт открыл экранирующее действие железа.

Гильберт открыл, что магнит со «шлемом» или «носом», то есть магнит, вправленный в арматуру из мягкого железа, сильно увеличивает подъемную силу.

Гильберт сделал гениальную догадку о том, что действие магнита распространяется подобно свету.

Гильберт многое сделал и открыл. Но... Гильберт почти ничего не смог объяснить. Все его объяснения носят схоластический и наивный характер. Вот, например, как Гильберт объясняет тот факт, что при разрезании одного длинного магнита образуется много коротких, которые имеют первоначальное направление намагничивания и стремятся сохранить прежнее положение в пространстве. Он сравнивает магнит с веткой дерева: «Пусть АВ будет покрытый листвою сучок ивы... А — верхняя часть, В — нижняя, по направлению к корню. Раздели его в СО. Я утверждаю, что конец А, снова вставленный в С с соблюдением правил прививки, прирастает к нему, точно так же, если В вставить в А, то они скрепляются друг с другом и дают ростки. Но если Д вставить в А или С в Р, то они вступают между собой в борьбу и никогда не срастаются, но один конец отмирает вследствие неподходящего и несоответствующего соединения, так как растительная сила, идущая одним путем, теперь оказывается стремящейся в противоположные стороны...»

Еще туманней разъяснения Гильберта относительно природы магнетизма. Его ответ сводится к тому, что всему причиной душа магнита. Это, в известной мере, шаг назад по сравнению с Лукрецием. Извинением великому первооткрывателю может,

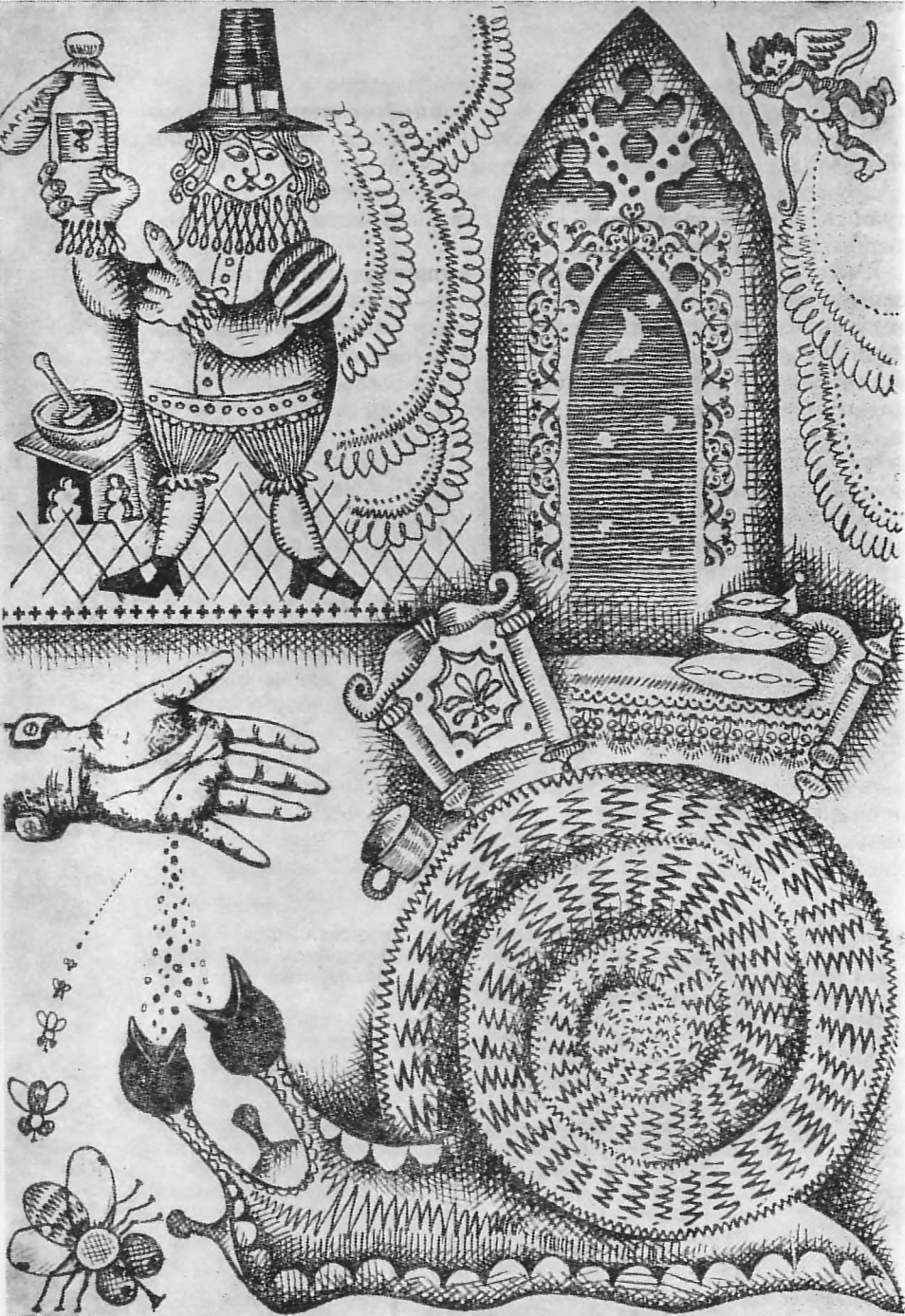
---

<sup>1</sup> С этим явлением мне пришлось недавно встретиться в одной из служебных командировок на электростанцию небольшого южного городка. Вызов был странным: «Срочно вылетайте выяснения причин магнитности турбин». Оказалось, что при работе громадных паровых турбин (тогда самых больших в мире) они превращаются в гигантские магниты, собирающие со всего машинного зала болты, шпильки, гвозди, гаечные ключи. При исследовании выяснилось, что турбины поступали уже сильно намагниченными. При транспортировке турбины были расположены с севера на юг, а перестук колес ускорил намагничивание. При работе турбина, вращаясь в собственном магнитном поле, стала генератором постоянного тока и еще больше намагнитила себя этим током. В конце концов турбина превратилась в очень сильный магнит, о чем можно было судить хотя бы по тому обстоятельству, что для снятия с турбины стальной крышки пришлось использовать пятидесятитонный кран.

видимо, служить лишь то, что и с позиций современной квантовой физики притяжение магнита — не такая уж очевидная вещь...

Другим, значительно более серьезным извинением может служить то, что за словом «душа» у Гильберта иногда ясно слышится слово «поле»...

Имя Гильберта носит единица напряженности магнитного поля в системе СИ — это дань потомков, физиков и инженеров, лондонскому врачу, сделавшему благодаря своей любознательности крупнейшие открытия в, казалось бы, очень далекой от него области — физике.



## ПЕРВОЕ ПРИМЕНЕНИЕ МАГНИТА — СЛАБИТЕЛЬНОЕ

**В этой главе автор делает реверанс древним врачам, поскольку в самое последнее время оказалось, что многие их выводы относительно магнита абсолютно правильны.**

До изобретения компаса европейцы додумались только в XIII веке. Казалось бы, велико изобретение: подвесил магнит на веревочке — и он повернулся в направлении север — юг. Однако у тысяч европейцев перебивал магнит до XIII века, но изобретения не было сделано:

у одних был магнит, но не было веревочки;

у других была веревочка, но не было магнита;

у третьих было и то и другое, но они не догадались привязать магнит к веревочке;

четвертые привязали, но не подвесили;

пятые подвесили, но не заметили, что магнит чуть повернулся;

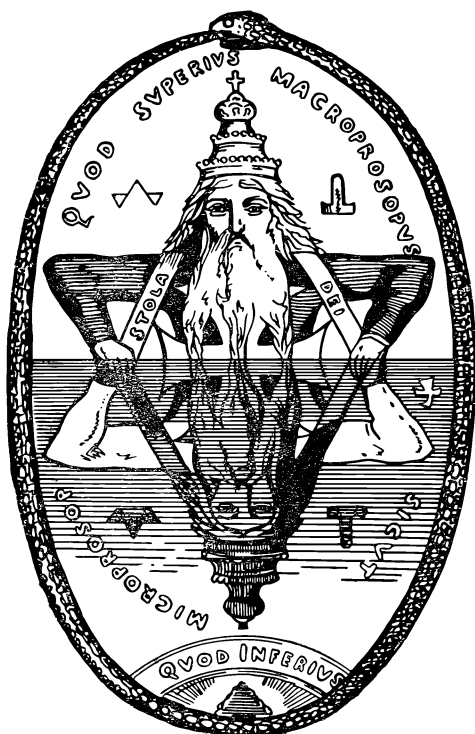
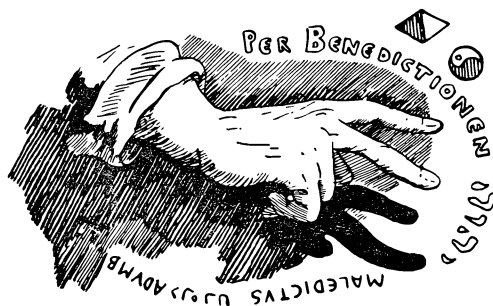
шестые заметили, что повернулся, но не отметили, что новое положение всегда одно и то же — с юга на север.

Известный немецкий физик Гельмгольц писал по этому поводу: «И от этих случайных обстоятельств зависело великое открытие!»

Однако, хотя компас долгое время не был изобретен, магниты широко применялись в Европе и во всем мире и до XIII века в качестве в высшей степени универсального лекарства, а также в качестве неизбежного атрибута алхимиков, кабалистов<sup>1</sup>, колдунов и приверженцев черной магии. Индусы, китайцы, египтяне, евреи, арабы использовали его как лекарство, амулет и верное средство для сохранения молодости, ускорения родов и успокоения нервов. Среди людей, считавших магнит хорошим

---

<sup>1</sup> Между прочим, жрецы черной магии и кабалистики объясняли «волшебные» свойства магнита в терминах, характеризующих единство и борьбу противоположностей. Они, например, говорили о жизни и смерти, боге и дьяволе, Жакине и Боасе — сильном и слабом, мужчине и женщине, праве и долге, тепле и холоде, южном и северном полюсах магнита. Все противоположности кабалисты считали едиными. Для выражения этого закона они использовали «великий символ Соломона», в котором символически показано единство двух противоположных начал.



Средневековые символические изображения единства двух начал — северного и южного полюсов магнита.

лечебным средством, можно найти многих знаменитых ученых и врачей древности.

Плиний (Кайя Плиния Секунда, I в. н. э.) в главе «Магнит» своей «Естественной истории» говорит об излечении магнитом болезней глаз.

Сусрута, знаменитый индийский хирург, живший за пять столетий до нашей эры, производил операции на глазу при помощи магнита.

Диоскорид (I в. н. э.) замечает улучшение настроения у меланхоликов, носящих с собой магнит.

Французский философ врач Марцелл (IV в. н. э.) рекомендует при головной боли надевать магнитное ожерелье.

Авиценна (XI в.) лечит магнитом от болезней селезенки.

Альберт Великий (XIII в.) считает, что ношение магнита на левой руке избавляет человека от ночных кошмаров и излечивает безумие.

С начала XVI века магнит почти повсеместно используется как лечебное средство против нервных болезней. Парацельс, живший в то

время, назвал полюсы магнита его «животом» и «спиной» и определил, что тело человека в разных точках имеет различную магнитную полярность.

В середине XVII века врач шведского короля Карла II Максвелл написал целый трактат, касающийся магнетизма, — первый из ста тысяч, впоследствии написанных по этому вопросу, трактат, касающийся влияния одного человека на другого посредством «магнетического флюида», содержащегося в магните.

В XVIII веке н. э. врач очередного английского короля Кларик впервые применил для лечения зубной боли не естественные магниты, встречающиеся в природе, а стальные бруски, потертые естественным магнитом.

В 1770 году начал свои опыты Фридрих Антон Месмер, работы которого породили впоследствии целые школы гипнотизма и магнетизма. Месмер придавал магниту совершенно особую роль в мире лекарств. Однако пришел к магниту он в известной мере случайно. Месмер после окончания университета забросил медицину. В поисках средств к существованию он женился на богатой вдове и вместо медицины посвятил себя искусству. Он был близким другом Моцарта, Глюка и Гайдна, однако сам не смог сделать себе имени в музыке. Поэтому ему и пришлось вернуться к медицине.

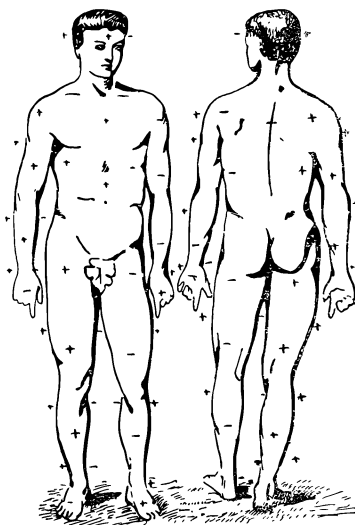
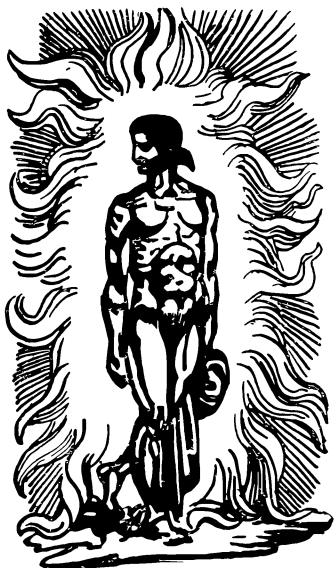
Одна из первых его пациенток фрейлен Францель Остерлити страдала от конвульсий, головных болей и паралича. Никакие лекарства, прописанные Месмером, не помогали. И тут Месмер вспомнил о своем бывшем кумире Теофрастусе Бомбастусе, называемом иногда Парацельсом<sup>1</sup>, считавшем магниты лекарством.

Придя на следующий день к пациентке, Месмер положил на ее тело несколько сильных магнитов. По телу пациентки пробежали дикие судороги, продолжавшиеся несколько мгновений. После этого наступило полное облегчение. Несколько сеансов такого лечения абсолютно излечили пациентку.

Месмер считал, что вся вселенная и живые существа пропитаны магнитным флюидом. Вокруг человека создается «магнитная атмосфера», а на теле человека можно обнаружить магнитные полюса. Если флюид в теле человека течет правильным

---

<sup>1</sup> Парацельс был очень известной фигурой в средние века. Считали, что он владеет секретом философского камня — умеет превращать металлы в золото и имеет «эликсир молодости», который позволяет быть ему вечно молодым. Это, впрочем, не помешало ему убежать в окно от разгневанной квартирной хозяйки, которой он задолжал, и умереть в весьма раннем возрасте.



«Магнетическая атмосфера», окружающая человека, и человеческий магнетизм в представлении Дюрвиля. Знаком «+» обозначен южный магнитный полюс.

путем — человек здоров. Если ток нарушен, на тело нужно положить магнит, который, испуская свой флюид, может исправить неправильную картину течения «магнетизма». Соответственно форме различных частей тела Месмер рекомендует использовать магниты различных конфигураций.

Под влиянием блестящих успехов Месмера многие врачи стали практиковать лечение магнитами.

Нужно сказать, что последователи в техническом отношении далеко превосходили своего предшественника.

Уже в 1780 году эдинбургский врач Грэхем открыл в Лондоне «электротерапевтический кабинет» под звучным названием «Замок здоровья». Заплатив сто фунтов (колоссальные по тем временам деньги), больной допускался в «Замок здоровья» и получал право проспать ночь на «Звездной постели». Эта диковина покоилась на сорока крупных магнитах и была увенчана фигурами Амура и Психеи. «Курс лечения» сопровождался тихой музыкой и гаремными танцами.

В 1777 году Французское королевское медицинское общество организовало комиссию по проверке успешности лечения маг-

нитами. Эта комиссия, обследовав большое число больных и выздоровевших, пришла к следующим выводам:

1) нельзя не признать целебного действия магнита, употребляемого в виде амулета;

2) действие магнита не зависит от тех его качеств и свойств, которые присущи и другим телам, — холода, давления, прикосновения, трения;

3) это действие в то же время отличается от того, которое магнит оказывает на железо, однако притяжение играет немалую роль в его действии;

4) магнит прежде всего действует на нервную систему, а не на ткани и внешние органы;

5) магнит хорошо помогает при таких нервных болезнях, которые характеризуются усиленной работой нервной системы, например, при судорогах, конвульсиях, головных болях и т. д.

Лечение магнитами приобретало все новых сторонников. Де-Герсю, член федерального совета в Женеве, придумал использовать вместо магнита «намагниченную воду», которую можно было использовать для умывания, питья, промываний, клизм, примочек и ванн.

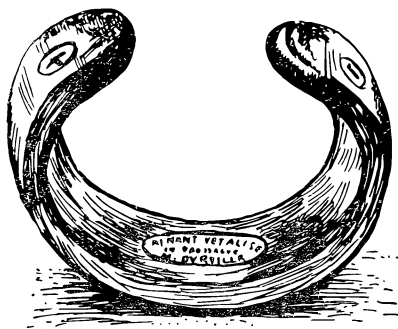
Французский врач Дюрвиль, ставивший опыты по лечению «намагниченной водой», утверждал, что после лечения тридцати пяти больных водой, «намагниченной» при помощи подковообразного магнита, поднимавшего 100—110 килограммов, у больных исчезали язвы, лучше зарубцовывались раны.

К сожалению, проверкой этих экспериментов никто не занялся, и поэтому сейчас трудно судить, какую роль в сообщениях месье Дюрвиля играл «авторский оптимизм».

В России XIX века лечение «железом» широко применялось среди простого народа при кровотечениях, опухолях и лихорадках. Несколько русских врачей выпустили в то время книги, в которых описывалось лечение магнитами. Среди них — «Домашний лечебник» А. Каспари (1848 г.) и «Гомеопатическая книга» Яра (1855 г.). В центральных гомеопатических аптеках Москвы и Петербурга шла широкая торговля лечебными магнитами. Рекламируя их, врачи писали: «с помощью магнитов жизнь, потухающая в теле, истощенном от длинного ряда страданий, возрождается точно от прилива новых сил». Теперь «каждый человек может быть исцелителем своей жены, а та в свою очередь — доктором своего мужа и своих детей»!

Однако в конце XIX и начале XX века магнит как лечебное средство теряет свое значение. По-видимому, это связано с раз-





Старинный лечебный магнит — предшественник современных «магнитных браслетов».

витием химии и синтезом химических лекарств, оказавшихся более действенными.

Единственным известным в настоящее время применением магнита в медицине, не связанным непосредственно с его притяжением, являются японские «магнитные браслеты», служащие для нормализации кровяного давления и успокоения нервной системы.

Однако продолжающиеся исследования показывают, что в медицине возможны и

другие применения магнита. Так, сотрудники Пермского медицинского института сообщили, что они обнаружили обезболивающее действие магнитного поля при сердечно-сосудистых и других заболеваниях.

Ученые из Бухарестского института бальнеологии и физиотерапии сообщили, на основании обследования 4000 больных, что ими замечено благоприятное воздействие магнитного поля при болезни Паркинсона, полиомиелитном параличе, хроническом бронхите и болезни Боткина. Кроме того, они на основании опытов на животных пришли к выводу, что магнитное поле увеличивает содержание лейкоцитов в крови. Это обстоятельство открывает возможность использования магнитного поля при лечении лучевой болезни, характеризующейся понижением в крови содержания лейкоцитов.

Кроме этого, в современной медицине часто используется механическое действие магнита. Так, например, для удаления металлических сорин из глаз используются электромагниты со специальными полюсными наконечниками. Этот метод, предложенный неким Мейером из Лондона, насчитывает уже более века.

Во время войны магниты часто применялись для обнаружения осколков и извлечения их из ран. Этот способ был применен доктором Трувэ еще в 1887 году для обнаружения пуль в теле американского президента Гарфильда, на которого было произведено покушение.

Метод извлечения железных осколков с помощью магнита был модифицирован в 1914—1918 годах введением вибрирующего поля — оказалось, что, пропуская по обмотке магнита не по-

стоянный, а переменный ток, можно добиться более легкого извлечения осколков.

Притяжение магнита использовалось и для облегчения участи инвалидов войны. Так, еще в 1915 году американским изобретателем Клинингером была предложена «магнитная рука», представляющая собой кожаную манжету с электромагнитом, надевающуюся на протез. Электромагнит, действующий от батарейки, размещающейся в кармане, позволял инвалидам использовать «магнитную руку» для удерживания инструментов со специальными стальными рукоятками.

Последние исследования на лабораторных животных и рыбах показали правильность средневековых представлений о тормозящем действии магнита на нервную систему. Правильным оказалось также старинное представление о сильном действии магнита на эмбриональные ткани. Мышата, клетка которых находилась в магнитном поле, развивались медленнее, чем мышата помещенные в обычной клетке, а выведение рыб из икринок и цыплят из яиц задерживалось.

Совершенно особое освещение проблема «Человек в магнитном поле» получила в последнее время в связи с космическими исследованиями. Для того чтобы в космическом пространстве межпланетные путешественники будущего не подвергались смертельному действию космической радиации, предложено экранировать корабль сильным магнитным полем. Но в нем могут оказаться и сами космонавты. Не может ли это вызвать какие-либо неблагоприятные последствия для космонавта?

Проблемой влияния магнитного поля на организм, целиком помещенный в это поле, стали интересоваться довольно давно. Так, еще в 1892 году в лаборатории Эдисона исследователи Петерсон и Кеннели помещали между полюсами магнита собаку, затем такой эксперимент проводился с мальчиком. В процессе этих ранних исследований никакого вредного воздействия магнитного поля на организм не было обнаружено.

Я помню, как один молодой инженер, решив доказать безвредность магнитного поля, сунул голову в зор электромагнита мощной атомной машины.

— Ну и как?— спросили мы его.

— Ничего особенного. Только когда вылезает, словно какая-то вспышка перед глазами, как от фотографического «блица».

Эту вспышку ученые называют фосфеном. Вероятнее всего, она связана с тем, что при изменении магнитного поля (когда человек уходит из сферы действия магнитного поля или входит

в нее) в тканях мозга наводятся «посторонние» биотоки, искажающие обычную картину.

Если же в магнитном поле находится постоянно, его наличие никак субъективно не отмечается — человек его не чувствует. Нужно, однако, сказать, что медики, исследовавшие кровь людей, находившихся в магнитном поле, пришли к выводу, что она претерпевает под его влиянием некоторые изменения. Кроме того, было замечено, что в периоды магнитных бурь на Земле, связанных с солнечными пятнами, увеличивается число сердечно-сосудистых заболеваний и возрастает смертность больных. Серьезно ухудшается и положение гипертоников.

Принимая во внимание эти и подобные факты, Институт гигиены труда и профессиональных заболеваний признал вредность длительного нахождения человека в сильных магнитных полях.

Это, конечно, не исключает того, что небольшие по размерам и относительно слабые магниты могут в ряде случаев, как это отмечалось древними и средневековыми врачами, оказаться полезными для человека.

А как действует магнитное поле на других представителей живой природы?

Американский ученый Ягли, исследуя механизм ориентации птиц во время их весенних и осенних перелетов, пришел к выводу, что птицы ориентируются по магнитному полю Земли и кориолисовой силе. Органом восприятия магнитного поля у птиц считаются полукружные каналы и улитку в ухе, оперение, а также гребешок, находящийся в глазу птиц.

Ягли провел такой опыт: он перевез голубей и их голубятню в очень отдаленное от прежнего места, в котором магнитное поле и кориолисова сила обладали такими же характеристиками, как и на прежнем месте. Установив голубятню на новом месте, Ягли отвозил голубей на большие расстояния и там отпускал.

Эксперименты показали, что голуби безошибочно находили свою голубятню, хотя местности совершенно не знали. Если же к крыльям голубей прикрепляли небольшие магнетики, голуби сразу теряли способность ориентироваться. О влиянии магнитного поля на способность птиц ориентироваться говорит и тот факт, что вблизи мощных электромагнитных излучателей — радиостанций, радаров — часто беспокойно кругами летают птицы, сбившиеся со своего традиционного пути.

Американский ученый Браун провел аналогичные исследования на улитках и мухах. Оказалось, например, что улитки могут не только ощущать направление магнитных силовых линий, но

и улавливать месячные и дневные колебания поля Земли. Видимо, у некоторых живых существ действительно есть какой-то орган, с помощью которого они могут чувствовать магнитное поле. Так, советский ученый Ю. А. Холодов открыл, что у рыб можно выработать условный инстинкт на магнитное поле. Включение поля приводило к тому, что рыбы (караси), находящиеся в аквариуме, начинали двигаться по направлению к кормушке — магнитное поле было для них столь же «осязаемым», что и свет, боль, резкий звонок.

Американский биолог Джини Бариоти провел в магнитном поле серию интереснейших опытов с мышами. В частности, выяснилось, что самка и самец, помещенные в магнитное поле сильного магнита, были не в состоянии дать потомство. Если же один из партнеров не содержался в магнитном поле, зачатие могло произойти. На мышей, помещенных в магнитное поле, оно действовало по-разному, в зависимости от его величины: в слабом их рост замедлялся, а в сильном мышата погибали.

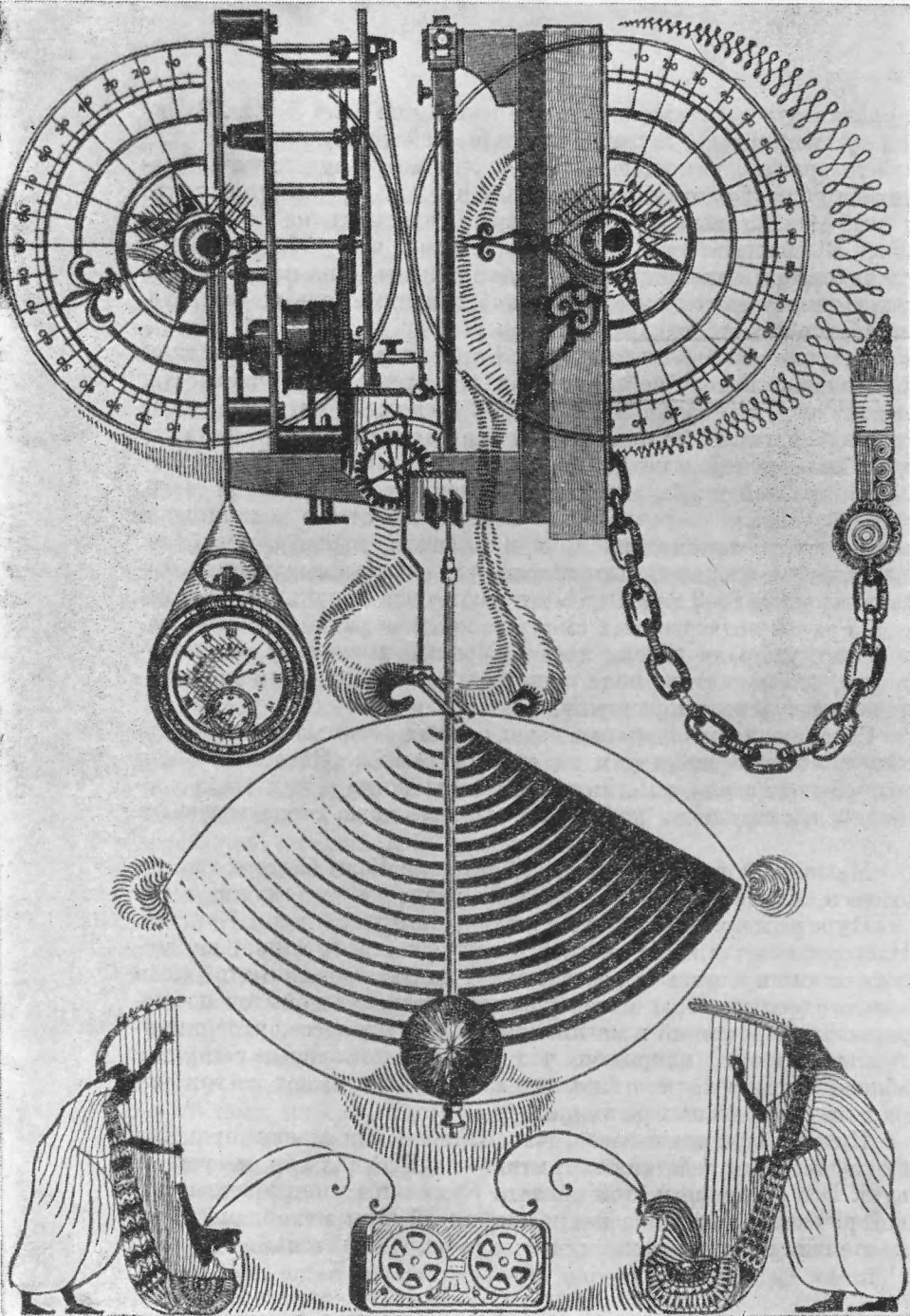
С другой стороны, выяснилось, что из взрослых мышей, содержавшихся 1—2 недели в магнитном поле индукцией 4000 гаусс, а затем подвергнутых смертельной дозе радиоактивного излучения, умирали далеко не все. Ученые высказали предположение, что магнитное поле может стать определенным противодействием от лучевого поражения.

Совершенно неожиданно было открыто, что магнитное поле омолаживающе действует на старых мышей. После того как мышей поддерживали в магнитном поле, шерстка у них стала лоснящейся, складки на коже разгладились, кожа стала мягкой и упругой.

Магнитное поле влияет и на бактерии. Если бактерии поместить в сильное магнитное поле, их развитие затормаживается.

Ну а растения? Чувствуют ли они магнитное поле? Когда-то Пастер высказал идею о том, что магнитное поле влияет на биологические процессы в растениях. С целью проверки этой идеи в шестидесятые годы было проведено несколько опытов по выращиванию растений в магнитном поле. В процессе экспериментов выяснилось, например, что зеленые помидоры, растущие вблизи южного полюса сильного магнита, созревают на три дня раньше контрольных растений.

Нужно, однако, сказать, что полного понимания процесса биологического действия магнитного поля до сих пор не существует. Все сведения в этой области рассеяны и эмпиричны, и в историческом масштабе наши знания об этом механизме недалеко ушли от средневековых выводов и представлений.



## РУКОТВОРНЫЕ МАГНИТЫ

**В этой главе, начинающейся с флюгера Оксфордского собора, говорится о тех магнитах, которые были сделаны людьми с помощью других магнитов.**

Из железа изготовляют множество чрезвычайно полезных вещей. Так, Вильям Гильберт четыре столетия назад писал:

«Иное железо пригодно для панцирей, иное против выстрелов метательных орудий, иное против мечей и против стали кривых сабель (обычно называемой «цементированной сталью»); одно служит для мечей, другое нужно для лошадиных копыт. Из него делают гвозди, крюки, задвижки, пилы, ключи, решетки, двери, створки, лопаты, палочки, подпорки, рыболовные и прочие крючки, трезубцы, горшки, треножники, наковальни, молоты, клины, цепи, ручные и ножные оковы, кирки, сечки, серпы, корзинки, заступы, мотыги, струги, грабли, сошники, вилы, чаши, чашечки, ложечки, ложки, вертелы, ножи, кинжалы, мечи, секиры, копья, дротики, пики, обоюдоострые мечи, якоря и множество нужных для мореходства предметов; кроме того, ядра, короткие копья, шипы, панцири, шлемы, нагрудники, конские подковы, поножи, проволоки, струны для музыкантов, кресла, опускные решетки, луки, баллисты и гибельные для человеческого рода бомбарды, пули и пушечные ядра и бесконечное множество неизвестных латинянам орудий».

К этому очень полному списку нужно, по-видимому, добавить, по крайней мере, еще один важнейший пункт — из железа делают магниты...

...Настоятель Оксфордского собора никак не мог понять, что от него нужно этому знаменитому Фарадею. Пришел и просит, чтобы ему отдали на исследование железную палку флюгера собора.

— И зачем вам такая старая проржавевшая палка? Того и гляди, флюгер-петух свалится с нее! Стоит, наверное на верхушке собора уже лет триста!

— Вот и хорошо, — смеясь, ответил Фарадей, — нам как раз и нужна эта заржавевшая развалина. Проследите, пожалуйста, только, чтобы, пока ее снимали и спускали вниз, не меняли бы ее вертикального положения!

Когда палку сняли и поставили вертикально во дворе собора,



В средние века было открыто, что, располагая при ковке кусок железа в направлении «север — юг», можно намагнитить его.

Фарадей с учениками поднесли к ее верхнему и нижнему концу компас. Палка флюгера оказалась магнитом — ее нижний конец был южным полюсом, верхний — северным.

Еще раньше, задолго до этих событий, Гильберт заметил, что все железные колонны, стоящие вертикально в Ирландии, сами по себе становятся магнитами, причем нижний их конец — всегда южный.

Путешественники, побывавшие в Австралии, рассказывали, что там происходит то же самое — железные колонны всегда становятся магнитами. Только южный полюс у них — всегда наверху.

Точно так же, расположив железный стержень в направлении север—юг, можно через некоторое время заметить, что стержень намагничивается — конец, обращенный к югу, приобретает северную полярность и наоборот.

Корабли, стоящие на стапелях, во время постройки приобретают намагниченность за счет магнитного поля Земли и становятся таким образом гигантскими плавающими магнитами.

Все эти случаи — проявления так называемого магнетизма положения. Этот магнетизм приобретают все железные и стальные предметы, длительно лежащие в магнитном поле — будь то поле Земли или поле другого магнита. Магнетизмом положения еще в древние века пользовались кузнецы — первые люди, получавшие магниты искусственным путем, из обыкновенного железа.

Магнетизм положения является частным проявлением более общего случая. Известно, что любое железное или стальное тело, внесенное в поле магнита, само становится магнитом. К гвоздю, притянутому подковообразным школьным магнитом, притягивается бритва, к ней — скрепка и так далее.

На этом принципе основан очень полезный инструмент, применяемый сейчас некоторыми врачами, извлекающими из желудка рассеянных пациентов иглы, булавки и другие железные предметы. Этот инструмент, называемый магнитным зондом, опускается в желудок пациента. За операцией следят на рентгеновском аппарате. Секрет зонда, с помощью которого можно вынуть из желудка даже раскрытую булавку, заключается в том, что железный наконечник его является магнитом не всегда, а лишь в необходимый момент. Это происходит за счет того, что внутри зонда пропущен гибкий стальной стержень. При необходимости «включить» магнит наружный конец стержня, торчащий изо рта, подсоединяется к постоянному магниту. Стержень намагничивается и притягивает к себе застрявший предмет.

Намагничивание железных предметов от находящегося поблизости магнита доставляет и по сей день неприятности людям, по долгу службы имеющим дело с мощными магнитами и носящим золотые часы. В таких часах все железные части намагничиваются и к силе пружинки в них добавляются силы притяжения, искажающие ход часов до такой степени, что ими становится невозможно пользоваться. В конце XIX века эта проблема приобрела столь крупные масштабы, что понадобилась разработка прибора для размагничивания часов; в этом приборе использовался принцип «вышибания клина клином» — часы снова помещаются в магнитное поле, но противоположного направления.

Предприимчивая часовая компания «Валтхам», в свою очередь, выпустила в 1888 году часы, которые абсолютно не боялись никаких магнитных полей. Для испытания эти часы поместили на 15 минут у самого жерла гигантской пушки — магнита майора Кинга. На фотографии того времени можно видеть, как служащий компании держит у жерла пушки свои патенто-



ванные часы. Секрет фирмы оказался очень прост. Самым надежным экраном для предохранения железных частей механизма — пружинки, балансира — от намагничивания является само железо. Корпус часов «Валтхама» был изготовлен из обычной магнитной стали.

Искусственные магниты можно также получить, натирая куском магнитного железняка в одном направлении железные бруски. Интересно, что этим способом можно получить искусственные магниты гораздо более сильные, чем исходные.

Кстати, об естественных магнитах. Их вытачивали из кусков магнитного железняка, и они подчас достигали значительных размеров. Самый крупный известный естественный магнит находится по сей день в Тартуском университете. Его вес 13 килограммов, а подъемная сила — 40 килограммов (в арматуре).

Одним из самых сильных естественных магнитов обладал, по преданию, Ньютон — в его перстень был вставлен магнит, поднимавший предметы, вес которых был в 50 раз больше веса магнетика.

Искусственные магниты, полученные методом натирания, стали изготавливаться в Англии еще в XVIII веке.

При изготовлении искусственных магнитов не все сорта стали вели себя одинаково — при натирании одного куска быстро получался желаемый результат, при натирании другого — намагниченность получалась ничтожной. Хорошо намагничивающиеся вещества, как правило, так же легко и размагничиваются (чистое железо); трудно намагничивающиеся вещества (сталь) остаются сильно намагниченными и после удаления внешнего магнитного поля. Первые вещества обычно называют «мягкими», вторые — «жесткими». Жесткость характеризуется «коэрцитивной силой», то есть напряженностью магнитного поля, создаваемого в пространстве намагниченным веществом, когда внешнее магнитное поле убрано.

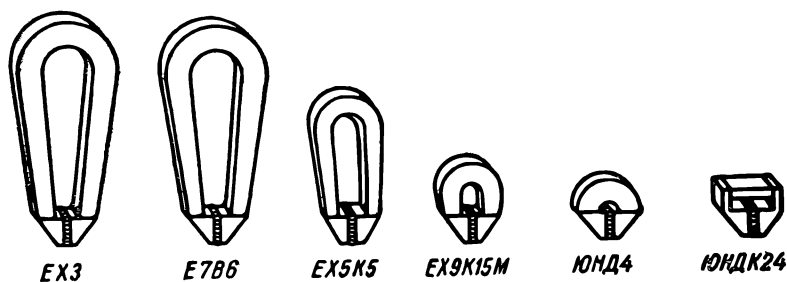
В конце прошлого века заметили, что трехпроцентная добавка вольфрама примерно в три раза улучшает свойства искусственных магнитов. Добавка кобальта улучшает свойства еще в три раза.

Самый лучший для того времени сплав изобрели японцы в 1921 году. Металлурги Хода и Сасю предложили сплав, в который, кроме железа, входили хром, углерод, кобальт, вольфрам.

Лучшим двукратным магнитным сплавом явился сплав «альнико» на базе алюминия, никеля и кобальта. С помощью магнитов из «альнико» можно было поднимать предметы, в 500 раз превышающие магнит по весу. При измененной техно-

логии — при спекании порошкообразного «альника» удалось поднять вес, превосходящий вес магнита в 4450 раз.

Еще более сильные магниты изготавливаются из сплава «магнико», в состав которого входят железо, кобальт, никель и некоторые другие добавки. Этот сплав разработан группой советских специалистов под руководством А. С. Займовского. Созданные на основе этого сплава «порошковые» магниты могут поднимать груз, более чем в 5000 раз превышающий их собственный вес.



Сравнительные размеры современных постоянных магнитов одинаковой силы. Буквы спизу обозначают марку сплава, из которого изготовлен магнит.

Еще более сильными являются так называемые оксидно-бариевые магниты.

Очень интересный магнитный сплав создан недавно в Англии на базе хлорсульфированного полиэтилена, смешанного с магнитным материалом. Этот магнит — эластичный, гибкий.

Где применяются постоянные магниты? Они являются очень важной частью многих хорошо знакомых нам устройств повседневной жизни. Их можно встретить в головке звукоснимателя, громкоговорителе, электрогитаре, автомобильном электрогенераторе, в небольших моторчиках магнитофонов, в радиомикрофоне, электросчетчиках и прочих устройствах. В некоторых странах выпускаются даже «магнитные челюсти», то есть сильно намагниченные стальные челюсти, оттапливающиеся друг от друга и за счет этого не нуждающиеся в креплениях. Магниты широко применяются и в современной науке.

Самый большой в мире постоянный магнит весит 2 тонны. С помощью этого мощного магнита создается магнитное поле напряженностью 1100 эрстед в объеме примерно 10 литров. Этот магнит используется во вспомогательном оборудовании

атомного реактора Чикагского университета и является частью установки для перекачивания жидких металлов.

Если в использовании постоянных магнитов существует несомненный прогресс, то теорию магнетизма и сейчас нельзя еще назвать полностью разработанной. И сейчас, хотя мы очень многое знаем о природе магнетизма и благодаря этим знаниям сумели создать ряд исключительно важных магнитных материалов, еще остаются, к сожалению, справедливыми слова великого Гильберта:

«Скорбите и плачьте, ученые, по поводу того, что ни прежние перипатетики, ни сами вульгарные философы, ни Иоанн Костей, высмеивающий все это, не могли постичь этой столь благородной и замечательной природы».

Почему же магнит притягивает? В чем сущность магнитного притяжения? Вопрос этот волнует людей уже много тысяч лет.

Тысячи лет назад кабиры — так называли бродячих фокусников Древней Греции — странствовали по своей земле и давали в тени олив удивительные представления. Одно из них всегда приковывало внимание обитателей окрестных селений. То, что делали кабиры, внушало благоговейное почтение к их тайному могуществу.

Несколько тяжелых железных колец висели, ничем не связанные друг с другом, одно под другим, не падая и не отрываясь. Казалось, могущественный Зевс, сильный и невидимый, неслышно поддерживает ладонями на весу эти кольца.

Секрет кабиров заключался в том, что кольца эти были сделаны из «геркулесова камня», добывавшегося где-то в Маниссе.

Уникальная способность магнита притягивать железные предметы ассоциировалась в воображении древних с плотской любовью, и поэтому первые объяснения притягивающего действия магнита были связаны с приписыванием магниту женского, а железу — мужского начала. Иногда считали и наоборот. Это, конечно, дела несколько не меняло. Суть сводилась к тому, что любое «притяжение», в том числе и притяжение магнита, было механически приравнено друг к другу. Стремление пылинки к потертому янтарию, металлических колец — к магниту, мужчины — к женщине считалось явлениями одного порядка. В обширную за счет этого семью «магнитов» попали многие, весьма странные с современной точки зрения магниты. Так, в свое время писалось о «креагическом», или «мясном» магните, поскольку некоторые ученые видели, как куски мяса пристают к губе. Гильберт когда-то писал: «Пламя серы притягивает, так как оно похищает некоторые металлы, благодаря своей способности про-

никать внутрь их. Так, белая нефть привлекает пламя, так как она испускает и испаряет воспламеняющийся газ, почему она на некотором расстоянии и воспламеняется; таким же образом дым только что потушенной свечи воспринимает пламя от другого пламени: ведь огонь ползет к огню сквозь воспламеняющуюся среду...»

В семейство «магнитов» попала также рыба-прилипала, морские моллюски, присосавшиеся к днищу корабля, камень «сагдон», к которому якобы притягиваются деревья, причем с такой силой, что оторвать их можно только обрубая сучья и ветви, камень «катохит», притягивающий к себе мясо (как впоследствии выяснилось, этот камень «от его липкости и присущего ему клея» пристаёт к теплым рукам), животные, втягивающие внутрь себя пищу.

Воображением и наблюдательностью наших предков было образовано и семейство «антимагнитов», то есть семейство существ и веществ, «отталкивающих» друг друга. В это семейство попали и антипатичные друг другу люди, и пламя свечи, отталкивающееся от магнита, и масло, отталкивающее воду, и огурец, соскальзывающий, если под него подлить растительное масло.

«...Плиний, выдающийся человек и лучший из тех, кто делал выписки (ведь он передает потомству не всегда и не преимущественно то, что он видел и открыл сам, а чужое), списал у других сказку, ставшую в новое время благодаря частым пересказам общеизвестной: в Индии, у реки Инда, есть две горы; природа одной, состоящей из магнита, такова, что она задерживает всякое железо; другая, состоящая из фемаеда, отталкивает железо. Так, если в обуви имеются железные гвозди, то нет возможности оторвать подошву от одной из этих гор, а на другую нет возможности ступить. Альберт Великий пишет, что в его время был найден магнит, который одной своей стороной притягивал к себе железо, а другой, противоположной, отталкивал его», — писал Гильберт, человек, на долю которого выпало разделить все эти явления «притяжения и отталкивания» на соответствующие категории и выделить из них лишь то, что непосредственно касается магнита. Гильберт отверг всякие рассуждения о фемаеде — веществе, отталкивающемся от железа. Может быть, это была ошибка Гильберта.

Сейчас хорошо известно, что есть материалы, которые магнитом отталкиваются. К их числу, например, принадлежит медь. Правда, это отталкивание очень слабо, но кто знает — не могли ли древние каким-либо образом заметить его и создать свое учение о фемаеде — антимагните?

Сейчас такие вещества называют диамагнетиками.

Вещества, притягивающиеся к магниту, называют парамагнетиками и ферромагнетиками. Свойство притяжения в наибольшей степени присуще ферромагнетикам, и в первую очередь — большой тройке — железу, никелю и кобальту.

Причиной магнитных свойств сейчас единодушно считают вращение заряженных электронов вокруг ядра атома. Ведь всякое движение заряда — это электрический ток, а каждый ток создает магнитное поле.

Магнитные свойства атомов так же, как и все их свойства, подчинены периодической системе элементов Д. И. Менделеева. С изменением номера элемента в таблице Менделеева меняется и структура электронных оболочек атома. Структуры оболочек ферромагнитных атомов таковы, что все электроны, грубо говоря, вращаются в одну сторону, создавая сильный суммирующий магнитный момент. В неферромагнитных же атомах магнитные моменты электронов направлены в разные стороны, что приводит к их взаимной компенсации.

В немагнитном ферромагнетике магнитный момент тела в целом равен нулю. Это объясняется тем, что в ферромагнетиках все атомы делятся на группы — так называемые домены. Каждый из доменов, видимый невооруженным глазом, содержит миллиарды атомов, намагниченных в одном направлении, и, таким образом, имеет солидный суммарный магнитный момент. Однако тело в целом магнитным моментом не обладает, поскольку домены в теле расположены хаотично.

Помещая тело в магнитное поле, мы приводим к тому, что все домены постепенно ориентируются в направлении внешнего магнитного поля и их магнитные свойства суммируются. Сняв внешнее магнитное поле, получим новый магнит — ферромагнитное тело, в котором все домены намагничены в одном направлении. Если мы хотим в течение длительного времени сохранить магнитные свойства «рукотворного магнита», нужно приложить усилия к тому, чтобы домены не приобрели прежнего хаотического расположения. Для этого магнит не нужно трясти и нагревать.

Почему же два намагниченных тела стремятся друг к другу? Теория говорит о том, что всякая система пытается принять такое положение, в котором ее энергия минимальна.

Почему камень падает на землю? Он падает на землю потому, что стремится занять такое положение, в котором его потенциальная энергия будет минимальна. Другими словами, камень стремится занять наиболее низкое положение и поэтому падает.

Существуют громоздкие математические формулы, говорящие о том, что суммарная энергия двух магнитов, касающихся друг друга, меньше, чем энергия магнитов, разнесенных на некоторое расстояние. Поскольку система должна занять энергетически наиболее низкое положение, магниты притягиваются друг к другу. То же самое можно сказать о магните и куске железа.

Такое объяснение универсально и просто. Если оно вас удовлетворяет, можете считать загадку магнита решенной.

Нужно отметить, однако, что поскольку современное объяснение магнетизма следует из категорий квантовой физики, то очевидно, что полная разгадка притяжения магнита наступит тогда, когда мы полностью разберемся со всеми теми процессами, которые происходят в микромире, в частности в электроны,

А электрон неисчерпаем...



## РОЖДЕНИЕ ГИГАНТА

В этой главе рассказывается об одном янтарном веретене, о тайне дергающихся лапок, о том, как человек узнал, что магнетизм и электричество — близкие родственники, о пользе тесноты в лабораториях и об изобретателе, портрета которого не сохранилось.

*Когда придумано было это электричество, стали его прилагать к делу: придумали золотить и серебрить электричеством, придумали свет электрическим и придумали электричеством на дальнем расстоянии с места на место передавать знаки.*

*Для этого кладут куски разных металлов в стаканчики, в них наливают жидкости. В стаканчиках набирается электричество, и это электричество проводят по проволоке в то место, куда хотят, а из того места проволочку проводят в землю.*

*Л. Н. Толстой*

В 1755 году один лондонский еженедельник писал:

«Электричество — сила, хорошо изученная человеком. Ее с успехом применяют для лечения болезней, эта сила способна ускорять развитие растений». Эта фраза — образец чудовищной самоуверенности людей.

Действительно, история электричества насчитывала в то время тысячи лет.

Говорят, что электричество впервые «показалось» человеку в тот момент, когда дочь известного философа-материалиста Фалеса Милетского, уронив янтарное веретено и пытаясь снять с него нитки шерстяной тряпочкой, заметила, что к веретену притянулись мелкие кусочки ткани, нитки, пылинки...

Может быть, это и так, однако свойство потертого янтаря притягивать пылинки и листки известно человечеству с глубокой древности, причем, по-видимому, повсеместно. Так, известный естествоиспытатель Гумбольдт писал, что об этом свойстве янтаря знают, например, не затронутые цивилизацией индейцы бассейна реки Ориноко.



Однако до XVI века это свойство янтаря и многих других веществ не привлекало к себе внимания ученых. Начало их научному изучению было положено Гильбертом. Им было открыто множество веществ, обладавших теми же свойствами, что и янтарь.

Следующий крупный шаг в освоении электричества, видимо, следует приписать знаменитому любителю науки бургомистру города Магдебурга Отто фон Герике, прославившемуся, кроме того, своими «магдебургскими полушариями».

Отто фон Герике, натирая сухими руками небольшой шар из серы, мог получать довольно значительные заряды статического электричества. Эти заряды были подчас настолько велики, что опыт с натиранием шара некоторые исследователи называли «страшным опытом» и не советовали кому-либо его повторять из-за сильных электрических ударов.

Шары фон Герике послужили прообразом будущих электрических машин, настолько распространенных в то время, что их можно было встретить как в кабинетах физиков (Исаак Ньютон производил опыты по методике фон Герике со стеклянным шаром), так и во дворцах вельмож, ничего общего с наукой не имевших.

Машины «десятипудового бургомистра» сразу же получили очень широкое распространение, и не удивительно, что с их помощью удалось обнаружить много новых электрических эффектов.

Один из сенсационных случаев произошел в знаменитой лейденской лаборатории. Студент по имени Канеус использовал машину Герике для того, чтобы «зарядить электричеством» воду в стеклянной колбе, которую он держал в ладонях. «Зарядка» осуществлялась при помощи цепочки, подсоединенной к бруску машины. Цепочка спускалась через горлышко машины в воду. По истечении некоторого времени Канеус решил убрать свободной рукой цепочку — вынуть ее из сосуда. Прикоснувшись к ней, он получил страшный электрический удар, от которого чуть не умер.

Оказалось, что в сосудах такого типа электричество может накапливаться в очень больших количествах. Так была открыта так называемая «лейденская банка», простейший конденсатор.

Новость о лейденской банке с большой скоростью распространилась по Европе и Америке. Во всех лабораториях и аристократических салонах ставились удивительные опыты, неприятные, забавные и таинственные в одно и то же время.

Французская столица, естественно, не осталась в стороне от

этого лейденского поветрия. Семьсот парижских монахов, взявшись за руки, провели «лейденский эксперимент». В тот самый момент, когда первый монах взялся за головку банки, все семьсот монахов, сведенных одной судорогой, вскрикнули с ужасом. Несмотря на неприятное ощущение, тысячи и тысячи людей хотели подвергнуться этому эксперименту. Изготавливались новые банки, все более мощные.

Лейденская банка стала одним из необходимейших атрибутов любого исследования. С помощью лейденской банки можно было получать электрические искры длиной в несколько сантиметров.

Ценное наблюдение принадлежит английскому физiku Вэллю, который одним из первых наблюдал искры при разряде электрической машины и сравнивал их с фосфоресцированием, возникающим при раскалывании сахара в темноте. Хотя эти искры были очень слабы, теперь уже можно было перекинуть мостик между ними и гигантской искрой-молнией.

Следующим шагом была постройка итальянским физиком Вольта (в честь его названа единица электрического напряжения) в 1775 году (по сути дела, совсем недавно — и двухсот лет не прошло) электрофора — очень простого исследовательского инструмента. (Нужно отметить, что во многих странах приоритет Вольта оспаривается и честь создания этого важнейшего устройства приписывается Пилске, который в своей записке Шведской Академии наук от 1762 года описал принцип работы этой машины.)

Прибор Вольта был очень прост — он состоял из сургучной подушки, металлического диска со стеклянной ручкой, собственного пальца и... кошки (или кошачьей шкуры, однако кошка предпочтительней, потому что для хорошей электризации шерсть должна быть теплой). Принцип действия электрофора по сути дела тот же, что и у школьных электрофорных машин, и состоит в том, что заряд, сообщенный сургучу при трении его кошкой, может быть увеличен в произвольное число раз при повторении цикла опускания металлической плиты на сургуч и отведения ее назад. При этом палец экспериментатора служит тем мостиком, по которому из диска убегает при каждом цикле очередная порция зарядов «ненужного» противоположного знака.

С изобретением Вольта человек получил первое устройство для получения им по желанию электрических зарядов любого знака. Замкнув эти заряды друг на друга, человек впервые стал иметь возможность наблюдать действия электрического тока, правда относительно небольшой величины.

Не исключено, однако, что люди, жившие на Земле более трех тысяч лет назад, не только хорошо знали об электричестве, но и умели его использовать. Мнение это основывается на результатах раскопок в Ираке, южнее Багдада на берегах Тигра. Расчищая кистями пласты засохшей вековой красной глины, археологи обнаружили очень странные предметы. Это были керамические сосуды совершенно необычной формы. Внутри их были вставлены разъединенные медные цилиндрики и железные бруски. Вид цилиндров свидетельствовал о том, что их разъединение скорее всего является следствием воздействия кислоты (во времена вавилонские были хорошо известны уксусная и лимонная кислоты). Но самое удивительное было на дне сосудов: там лежал битум — великолепная электрическая изоляция! Если предположить, что железная и медная пластины, разделенные битумом, находились в кислоте, то необходимо признать, что древним были известны электрохимические элементы, открытые Вольта спустя тысячелетия.

Косвенным доводом в пользу такого предположения служит тот факт, что золотое покрытие, украшающее вавилонские драгоценности, настолько тонко, что трудно представить, что его можно было бы нанести каким-либо способом, кроме электролитического!

Новый шаг в развитии электричества сделал соотечественник Вольта — Гальвани, профессор анатомии в Болонье в 1780 году. Имя Гальвани тесно связано с «тайной дрыгающихся лапок» мертвых лягушек, занимавшей долгое время умы лучших европейских ученых.

Совершенно случайно получилось так, что в той же комнате, где в ноябре 1780 года Гальвани изучал на препаратах лягушек их нервную систему, работал его приятель — физик, производивший по методу Вольта опыты с электричеством. Одну из отпрепарированных лягушек Гальвани по рассеянности положил на стол электрической машины.

В это время в комнату вошла жена Гальвани. Ее взору предстала жуткая картина: при искрах в электрической машине лапки мертвой лягушки, прикасавшиеся к железному предмету (скальпелю), дергались. Жена Гальвани с ужасом указала на это своему мужу. Гальвани поразился и решил, что все дело в электрических искрах. Для того чтобы получить более сильный эффект, он вывесил несколько лягушек на медных проволочках на свой железный балкон во время грозы. Однако молнии — гигантские электрические разряды — никак не повлияли на поведение отпрепарированных лягушек. Чего не

удалось сделать молнии, сделал ветер. При порывах ветра лягушки раскачивались на своих проволочках и иногда касались железного балкона. Как только это случалось, лапки дергались.

Опыты Гальвани пробудили в широкой публике старые мечты о бессмертии. Бессмертие казалось совсем близким, осязаемым. Сегодня содрогается лапка убитой лягушки, а завтра... Бесчисленное число людей стали проделывать опыты по методике Гальвани.

Вот что писали об этом в одной из старых энциклопедий: «В течение целых тысячелетий хладнокровное племя лягушек беззаботно совершало свой жизненный путь, как наметила его природа, свободно росло и наслаждалось земными благами, зная одного только врага, господина аиста, да еще, пожалуй, терпя урон от гурманов, которые требовали для себя жертвы в виде пары лягушачьих лапок со всего несметного рода. Но в исходе позапрошлого столетия наступил злосчастный век для лягушек. Злой рок воцарился над ними, и вряд ли когда-либо лягушки от него освободятся. Затравлены, схвачены, замучены, скальпированы, убиты, обезглавлены — но и со смертью не пришел конец их бедствиям. Лягушка стала физическим прибором, отдала себя в распоряжение науки. Срезают ей голову, дерут с нее кожу, расправят мускулы и проткнут спину проволокой, а она все же не смеет уйти к месту вечного упокоения; повинувшись приказанию физиков или физиологов, нервы ее придут в раздражение и мускулы будут сокращаться, пока не высохнет последняя капля «живой воды».

И все это лежит на совести у Алоизо Луджи Гальвани...»

Интересно отметить, что за сто с лишним лет до Гальвани, в 1678 году, физиолог Шваммердам показывал великому герцогу Тосканскому точно такой же опыт с лягушкой, подвешенной на серебряной нитке. Видимо, это открытие было сделано слишком рано. Шваммердама все забыли, и Гальвани о нем ничего не знал.

Понять, почему лапки мертвых лягушек дергаются, Гальвани не было суждено. Лишь Вольта понял, что присоединение разных металлических проводников (у Гальвани медная проволока была привязана к железному балкону) друг к другу само по себе вызывает появление на других концах стерженьков электрических зарядов. Если замкнуть эти концы через тело лягушки, образуется электрический ток, который является не кратковременным, как при «страшных опытах» Отто фон Герике, а длительным. О природе этого тока у Вольты с Гальвани был очень

серьезный спор — Луиджи Гальвани был уверен в том, что источником тока является сама лягушка, а Алессандро Вольта считал первопричиной тока соединение двух разных металлов.

Каждый противник проводил многочисленные опыты в поддержку своей точки зрения. Гальвани провел опыты с отпрепарированными конечностями свежезабитых овец и кроликов. Как и в случае с лягушкой, при касании препарата двумя разными, соединенными между собой металлами конечности содрогались. Последователю Гальвани Запотти удалось добиться даже стрекотания мертвого кузнечика.

Позже подобные опыты проделывались над трупами казненных преступников. Эффект был ужасный — трупы содрогались, открывали глаза, волосы их становились дыбом. Впоследствии эти опыты были запрещены.

Хотя в споре Гальвани оказался неправ, он тем не менее заложил основы учения о биотоках организма.

Алессандро Вольта ставил совсем другие опыты — он скептически относился к теории «животного электричества» Гальвани. Иногда его можно было увидеть за странным занятием: он брал две монеты или два кружка — обязательно из разных металлов и... клал их себе в рот: одну на язык, другую под язык. Если после этого монеты или кружочки соединялись проволочкой, Вольта чувствовал солоноватый вкус — тот самый вкус, но гораздо слабее, что мы можем почувствовать, лизнув одновременно два контакта батареек. Из опытов, проведенных раньше с машиной Герике и электрофором, Вольта знал, что такой вкус вызывается протеканием по языку электрического тока. Поставив друг на друга множество кружков (свыше ста), Вольта получил довольно мощный источник электричества — вольтов столб. Присоединив к верхнему и нижнему концам столба проводнички и взяв их в рот, Вольта убедился в том, что этот его источник в противовес машине Герике и электрофору действует не одно краткое мгновение разряда статического электричества, а постоянно.

Сразу вслед за этим Вольта сделал еще одно изобретение — он избрал электрическую батарею, пышно названную «коронной сосудов» и состоявшую из многих последовательно соединенных цинковых и медных пластин, опущенных попарно в сосуды с разбавленной кислотой. Это был уже довольно солидный источник электрической энергии (солидный, конечно, по тем временам; сейчас с помощью «короны сосудов» можно было бы привести в действие разве что электрический звонок).

20 марта 1800 года Вольта сделал доклад о своих исследованиях в Лондонском королевском обществе. Можно считать, что с этого дня источники постоянного электрического тока — вольтов столб и батарея — стали известны многим физикам и начали широко применяться. Распространению этой известности и расширению опытов с электричеством способствовало приглашение Вольта Наполеоном в Париж для чтения лекций перед видными физиками Франции. В России тоже довольно быстро узнали об открытии Вольта. Одна из самых гигантских и мощных электрических батарей того времени, состоящая из 3000 «кружков», была построена русским профессором В. В. Петровым, открывшим с помощью этой батареи прославившую его электрическую дугу.

Уже в 1808 году сэр Гемфри Дэви впервые осуществил электрическое дуговое освещение. Электричество начало свое победное шествие по миру. Особенно быстро развивалось электрическое освещение. Небольшие лампы предлагалось даже помещать на головах слуг и служанок в богатых домах. Так, журнал «Сайнтифик Америкэн» писал тогда:

«Вскоре настанет то время, когда и частные дома будут освещаться девушками, вместо того чтобы использовать электрические лампы на колоннах. Такая девушка (яркостью в 50—60 свечей) будет сидеть в кресле гостини и ждать, пока не позвонят гости — тогда она включит на себе свет, примет посетителя и проводит в приемную. Стоимость такой девушки будет гораздо ниже стоимости необходимого для приема специального слуги и газового освещения. Гораздо приятней иметь в доме электродевушку, чем громоздкие канделябры, которые постоянно угрожают упасть вам на голову. Каждый домовладелец с эстетическим чувством будет рад заменить канделябры девушками, для которых уже выпущено 2500 комплектов ламп и батарей».

Электричество уже до этого прочно вошло в обиход физических лабораторий. С ним проводились многочисленные опыты на животных, с его помощью получали дугу и миниатюрные молнии — искры.

Слово «электричество» прочно вошло в обиход простых людей. Электричество подозревали теперь во всех труднообъяснимых и таинственных случаях. Томас Перри обобщил взгляды того времени во фразе:

«Все электрическое — таинственно; поэтому все таинственное — электрическое». Роберт Бернс в своем шутливом стихотворении «Золотое кольцо» писал:

— Зачем надевают кольцо золотое  
На палец, когда обручаются двое?—  
Меня любопытная дева спросила.  
Не став пред вопросом в тупик,  
Ответил я так собеседнице милой:  
— Владеет любовь электрической силой,  
А золото — проводник!

Говорили, что «угри насыщены электричеством точно так же, как гадюки насыщены ядом. Их соприкосновение равносильно действию молнии»...

«...в Сант-Урбане родился ребенок, который насыщен электричеством, как лейденская банка; прикасаясь к нему, все получают сильный удар, руки и ноги его светятся в темноте; он умер восьми месяцев, и перед смертью к нему было нельзя подойти, так он был наэлектризован»...

«...есть растение фитолака электрика, прикасаясь к которому человек получает толчок; это растение действует на магнитную стрелку на расстоянии 6 метров, а птицы и насекомые избегают его...»

«...в деревне Медведково прошла сильная гроза; крестьяне видели, как молния ударила в нож, после грозы нож стал притягивать железные гвозди...»

Наблюдения, подобные последнему, были особенно часты — намагничивание вил, ножей, топоров и, наоборот, размагничивание компасных стрелок, «в которые ударяла молния», наблюдалось почти повсеместно. Многие замечали и то, что во время ударов молнии магнитные стрелки начинают метаться. Связь электричества и магнетизма все явственней проступала в таких сообщениях, и многие ученые стали пытаться найти эту связь, «получить из электричества магнетизм». Проводились многочисленные опыты. Пытались пропускать через железные бруски большой ток, пытались воздействовать на бруски искрой от электрофоров и электрофорных машин. Брусок не намагничивался. Магнитная стрелка бесстрастно указывала прежнее направление...

Не удалось обнаружить связи между молниями и намагничиванием ни Франклину, ни М. В. Ломоносову и его другу Г. В. Рихману. Проводя эксперименты, Рихман погиб, рухнув на пол рядом со своими приборами. Ломоносов в рапорте по поводу смерти Рихмана писал:

«Прибывший медицины и философии доктор Х. Г. Кратценштейн растер тело ученого унгарской водкой, отворил кровь, дул ему в рот, зажав ноздри, чтоб тем дыхание привести в движение. Тщетно. Вздохнув, признал смерть...»

Стрелка впервые повернулась в опытах трентского физика Романьози; в 1802 году Романьози заметил, что при поднесении компасной стрелки к вольтову столбу она чуть заметно отклоняется. Иногда никакого эффекта не наблюдалось. Романьози не смог понять того, что стрелка отклонялась лишь тогда, когда вольтов столб замкнут на нагрузку, другими словами, лишь тогда, когда по нему течет ток.

Открыть это выпало на долю известного датского ученого Эрстеда<sup>1</sup> в 1820 году. И как это очень нередко случается, Эрстеду приписывается открытие, которого он, строго говоря, не сделал. Дело было так: читая 15 февраля 1820 года студентам Копенгагенского университета лекцию по физике, профессор Эрстед производил некоторые опыты с электричеством. Около одного из проводников, по которому протекал ток, случайно оказался компас. Один из любознательных студентов, имени которого мы не знаем, заглянув в компас, с удивлением заметил, что при включении тока стрелка поворачивается. Недоумевающий студент сообщил об этом Эрстеду. Эрстед объяснил поворот стрелки протеканием тока и с этого дня стал считаться человеком, открывшим связь электричества и магнетизма.

В блестящей цепи ученых, способствовавших современному расцвету электротехники, следующими были Араго и Ампер. 25 сентября 1820 года Араго заметил, что проволока, по которой идет ток, притягивает железные опилки и, кроме того, намагничивает стальные иголки, лежащие к ней под прямым углом.

Посмотреть на это явление в лабораторию Араго пришел Ампер. Ампер увидел намагничивание иглол и предположил, что намагничивающее действие проволоки на иглолку увеличится, если проволоку свернуть в спираль, а иглолку поместить внутрь ее на ее оси. Идея тут же была воплощена в жизнь. Араго и Ампер изготовили спираль и, воткнув иглу в бумажку, поместили ее в центр спирали. Успех превзошел все ожидания. Игла намагнитилась несравненно сильнее, чем раньше.

Так был изобретен первый соленоид — катушка, обтекаемая электрическим током. Соленоид был первым электромагнитом, созданным человеком. Соленоиды и сейчас широко используются в физике — например, для изготовления «магнитных бутылок», удерживающих плазму в термоядерных исследованиях.

---

<sup>1</sup> В честь Эрстеда названа единица напряженности магнитного поля в системе CGS. Поле с напряженностью 1 эрстед очень слабо — земное магнитное поле обладает напряженностью, примерно равной 0,5 эрстеда. 1 эрстед в 80 раз больше 1 гильберта.



Что касается первого электромагнита, то есть катушки, обтекаемой током и содержащей внутри железный сердечник, то до его изобретения пришлось ждать еще пять лет. Это открытие пришлось на долю Вильяма Стерджена.

Он родился в Ланкашире в 1783 году, в семье сапожника. Отец не уделял семье ни малейшего внимания, целыми днями удил рыбу и глядел на петушинные бои. Молодого Вильяма послали учиться мастерству к сапожнику, тот, по-видимому, держал его в черном теле. Вильям голодал, и поэтому, чуть представился случай, сбежал от сапожника в вестморлендскую милицию. Было ему в то время 19 лет. Потом, через два года, Вильям «дослужился» до рядового артиллериста. В казармах он занимался чтением и проводил физические и химические опыты.

Однажды, когда их часть стояла на Ньюфаундленде, на остров налетел страшный ураган с молниями и громом. Этот ураган произвел на Вильяма большое впечатление и привлек его внимание к электричеству. Он стал читать книги по естествознанию, однако вскоре с горечью понял, что ничего в них не понимает. Тогда он решил начать с самых азов и занялся письмом, чтением и грамматикой. Сержант этой же части снабжал его книгами, которые Вильям, освободившись от вахты, читал по ночам. Вскоре он перешел к математике, мертвым и новым языкам, оптике и естествознанию. Его страстью в свободное от учебы время было ремонтировать часы и чертить.

После освобождения от воинской службы в 1820 году Стерджен купил токарный станок и посвятил себя изготовлению физических приборов, в частности электрических. Благодаря поддержке известного тогда химика Джеймса Марша он был назначен лектором в Военную академию Ост-Индской компании в Аддискомбе, где и преподавал до 1838 года.

Первым вкладом Стерджена в науку явилась разработка им модифицированной модели вращающихся цилиндров Ампера, описанной в «Философском журнале» в 1823 году. На следующий год он написал четыре статьи по термоэлектричеству, а 23 мая 1825 года представил Обществу искусств несколько усовершенствованных приборов для электромагнитных экспериментов, среди которых был ставший теперь знаменитым первый электромагнит. Идея цилиндрического и подковообразного магнита захватила его еще в 1823 году. Тогда Стерджен и построил вращающееся «колесо Стерджена», являвшееся фактически одной из первых модификаций электромотора.

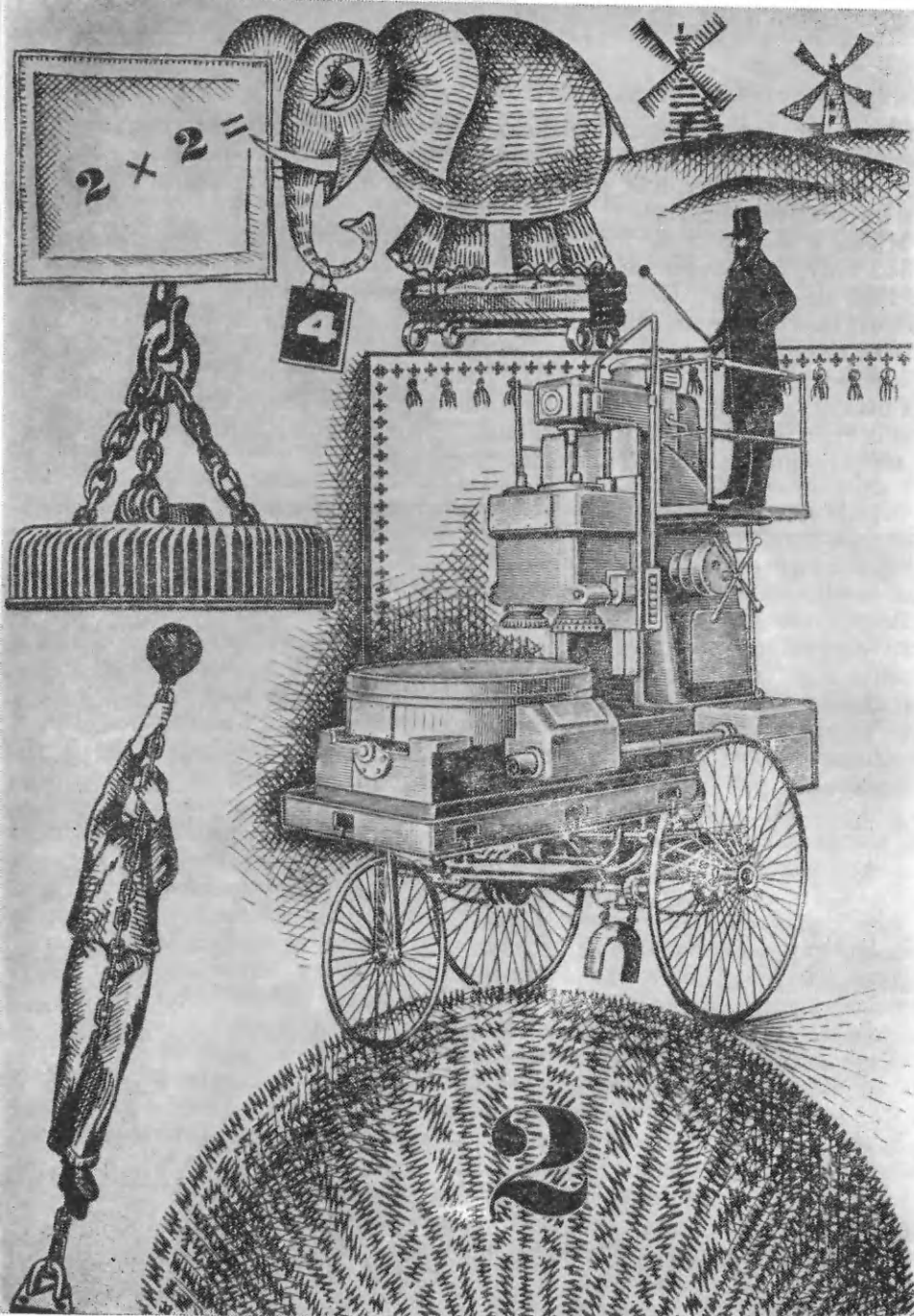
Он сделал ряд других важных открытий, о которых написал несколько статей; однако журнал «Философическ Транзекшенс»,

для которого они предназначались, отказался почему-то их печатать, и Стерджену не оставалось ничего, как... создать свой собственный журнал «Анналы электричества», в котором он и печатал свои статьи.

Музей в Манчестере, директором которого стал Стерджен в 1840 году, был слишком научным, чтобы быть прибыльным, и с 1845 по 1850 год Стерджен жил в бедности. В 1850 году изобретатель электромагнита умер, так и не получив за свое великое изобретение ни богатства, ни славы.

Ученик Стерджена, знаменитый Джоуль, писал, что Стерджен был высокого роста и хорошо сложен, обладал благородной внешностью и приятными манерами. К сожалению, портрета его не сохранилось. На его могильной плите выбито:

Здесь лежит изобретатель электромагнита...
--



## ЖЕЛЕЗНЫЕ МЫШЦЫ МАГНИТОВ

В этой главе сначала говорится об ученых, создавших первые электромагниты, а затем об использовании этих магнитов. Попутно идут рассуждения о музыке, о способах поимки преступников, приспособлениях батискафов для достижения дна океанских впадин, о невозможности защититься от ядер противника.

Первый в мире электромагнит, продемонстрированный Вильямом Стердженем 23 мая 1825 года Обществу искусств, представлял собой согнутый в подкову лакированный железный стержень длиной 30 сантиметров и диаметром 1,3 сантиметра, покрытый сверху одним слоем неизолированной медной проволоки. Электроэнергией он снабжался от химического элемента. Весил электромагнит 200 граммов, а удерживал на весу 3600 граммов, значительно превосходя по силе природные магниты такого же веса. Это было блестящее по тем временам достижение.

Правление общества оценило заслугу Стерджена. Он получил медаль и денежную премию, а первый электромагнит был выставлен в музее общества.

Джоуль (в честь которого названа единица энергии), ученик Стерджена, экспериментируя с самым первым магнитом Стерджена, сумел довести его подъемную силу до 20 килограммов. Это было в том же 1825 году.

В 1828 году лондонский мастер Воткинс изготовил электромагнит весом 2 килограмма. По конструкции этот магнит был, по-видимому, хуже, так как поднимал лишь 30 килограммов.

Тогда же утрехтский профессор Молл, взяв за основу конструкцию Воткинса, изготовил магнит, «поднимавший наковальню весом 60 килограммов и не поднимавший наковальню весом в 80 килограммов».

В 1832 году Стерджен изготовил магнит весом в 6 килограммов, поднимавший 160 килограммов, но уже в том же году его обошел Марш, изготовивший магнит, способный поднять более 200 килограммов.

Однако Стерджен не собирался терять первенства в эксплуатации своего изобретения. По его заказу в 1840 году был выполнен электромагнит, способный поднять уже 550 килограммов!

К тому времени у Стерджена нашелся очень сильный соперник за океаном. В апреле 1831 года йельский профессор Генри (в честь которого названа единица индуктивности) построил электромагнит весом около 300 килограммов, поднимавший около тонны.

Все эти магниты по конструкции представляли собой подковообразные стержни, обмотанные проволокой. Ученик Стерджена Джоуль в ноябре 1840 года создал магнит собственной конструкции, представлявший собой толстостенную стальную трубу, разрезанную вдоль оси ниже диаметра. Сечение этого магнита оказалось очень большим, магнит оказался компактным и поднимал 1,3 тонны.

В то же время Джоуль построил магнит совершенно новой конструкции — притягиваемый груз испытывал действие не двух полюсов, как обычно, а гораздо большего количества полюсов, что позволило резко повысить подъемную силу. Его магнит, весивший 5,5 килограмма, удерживал на весу груз в 1,2 тонны.

Так, после открытий и работ Романьози, Эрстеда, Стерджена, Генри и Джоуля человечество получило в свои руки магниты неслыханной доселе силы. Куда девать эту силу? Легкость получения больших тяговых усилий с помощью электромагнитов побуждала использовать электромагниты буквально во всех устройствах, где требовалось применить хоть мало-мальски серьезное усилие. Ученые на несколько лет уподобились мальчику, который, впервые получив магнит в руки, пытается притянуть им все, что попадаете на глаза — гвозди, бритвы, кровать, соседскую кошку. Электромагниты в большом числе появились в физических лабораториях, аристократических салонах, кабинетах врачей. Их стали использовать на швейных фабриках и в филармониях.

В одном из старинных журналов есть описание магнитного органа, установленного в соборе американского города Гарденсити. В этом органе клапаны открывались при помощи специальных магнитов. Когда органист нажимал клавишу, в цепь магнита подавался ток, магнит притягивал стерженек, прикрепленный к клапану той трубки, которая должна была звучать. Весь этот процесс происходил так быстро, что трубку можно было бы заставить звучать шестьсот раз в минуту. Таким образом, на магнитном органе можно было исполнять весьма виртуозные вещи.

Уже в 1869 году магниты широко применялись в приводе жаккардовых станков и для пробивания отверстий в металли-

ческих плитах. Но прежде всего, конечно, электромагниты стали использоваться по своему прямому назначению — для подъема тяжелых железных предметов. Сначала подъемные магниты исследовались в научных лабораториях. Еще в 1864 году в Свободной академии Нью-Йорка был создан электромагнит, весящий 260 килограммов, «который поднял семерых человек однажды и сколько он еще может поднять, никто не знает». Этот магнит, сделанный Т. Чарльзом и Н. Чеслером, представлял собой два загнутых на конце стержня круглого сечения из мягкого железа диаметром 10 см и длиной по 1 метру, соединенные на одном конце в виде буквы «U». На стержни было намотано 80 килограммов медной проволоки, изолированной хлопчатобумажной тканью. Для передвижения магнита по помещению использовалась вагонетка.

Вскоре после того, как было построено еще несколько таких крупных магнитов и все могли убедиться в их силе, надежности, компактности и удобстве, было предложено использовать электромагниты для подъема железных и стальных деталей на металлургических и металлообрабатывающих заводах. Вот как описывается рождение магнитного крана на сталелитейных заводах в Кливленде в питтсбургской газете «Пресс» за 1888 год:

«Для проверки магнита в производственных условиях он был подвешен на тросе к цеховому крану. Подвеска осуществлялась с помощью веревки, поскольку железная цепь намагничивалась и мешала работе. Для возбуждения магнита было достаточно тока 5,5—6 ампер. При этом легко поднимался груз 320 килограммов, который мог быть легко сброшен при выключении тока... В цехе, где был пущен магнит, рассчитывали получить работу по переноске железа 14 или 15 поляков. С пуском магнита они оказались по отношению к нему в позиции Отелло, поскольку один мальчик с помощью кнопки стал теперь выполнять работу всей это банды».

Сквозь грубоватый юмор питтсбургского журналиста просвечивает не слишком привлекательная изнанка технического прогресса при капитализме. Впрочем, с помощью магнитов некоторым из ставших в цехе ненужных рабочих была найдена работа по магнитной очистке территории и улиц. Этих рабочих прямо так и называли: «магнитные Биллы». В обязанности «магнитного Билла» входило носить на спине батарею, питающую электричеством магнит, который он держал в руках. С помощью этого магнита «магнитный Билл» должен был собирать с пола железные опилки, гвозди и мелкие детали.

С развитием автомобильного транспорта «магнитный Билл» был заменен «магнитным Фордом», который ездил по плохим дорогам того времени и собирал с дороги всё, что могло вызвать прокол камеры. Особенно большое применение «магнитные Форды» нашли во время войны, когда резина была дефицитным товаром. «Магнитный Форд» экономически себя хорошо окупал. Так, доктор Браун из форта Байярд в Нью-Мексико, применив в 1928 году на автомобиле магнит диаметром 30 сантиметров, сократил количество проколов у своей машины на 75 процентов и собрал за короткое время две тонны гвоздей.

В журнале «Сайнтифик Америкен» за 1944 год дается описание «магнитного Форда» — на любую старую автомашину на высоте 5—10 сантиметров над землей подвешивается один или несколько небольших магнитов, которые «прощупывают» пространство перед и между колесами машины. С помощью одной такой машины за год собиралось около 12,5 тонны железа, «причем в Северной Дакоте сбор составлял 6 $\frac{1}{2}$  фунтов на милю, в то время как в Южной Дакоте — лишь 1 $\frac{3}{4}$  фунта на милю».

В отсталой России магниту было найдено весьма своеобразное применение — вплоть до революции «Общество конно-железных дорог и омнибусов» использовало магниты для очистки овса, шедшего на корм лошадям, от железных гвоздей. Во всей Европе и Америке магниты широко применялись на мельницах для очистки зерна.

Одним из крупнейших подъемных электромагнитов явился американский магнит, построенный в 1903 году. С помощью этого магнита можно было поднять груз в 20 тонн, то есть целый железнодорожный вагон. Несколько позже был построен еще более мощный электромагнит, способный поднять за один раз 7 $\frac{1}{2}$  тонн, другими словами, целый паровоз.

Один из крупнейших электромагнитов, грузом которого была железная «баба» весом в 20 тонн («скулодробитель» — английский эквивалент «бабы»), был предназначен для разрушения при своем падении бракованного литья. Электромагнит в этом случае имеет серьезные преимущества, поскольку освобождение «бабы» при необходимости ее сброса вниз производится просто поворотом выключателя.

На коллаже в начале главы вы можете найти рекламный снимок, сделанный одной из немецких фирм, производящих магниты. Рабочий удерживается на стоящей вертикально цепи, прикрепленной к полу. Шар, укрепленный на другом конце железной цепи, притягивается к магниту так сильно, что цепь

остается жестко натянутой несмотря на то, что на ней повис рабочий. Железный шар не прикасается к магниту, и это говорит о колоссальной подъемной силе этого магнита, так как с увеличением расстояния притягиваемого предмета от магнита сила притяжения резко падает. Я. И. Перельман писал, что, прокладывая между подковообразным магнитом и притягиваемым им телом листок бумаги, мы тем самым снижаем силу притяжения сразу в два раза.

Широкое использование подъемных магнитов началось после того, как японцы чрезвычайно успешно применили их в массовом масштабе на судостроительной верфи в Иокогаме в 20-х годах.

Магнитная очистка зерна на мельницах стала прообразом одного из чрезвычайно важных в настоящее время применений магнитов. Речь идет о так называемых магнитных сепараторах. Принцип их действия, грубо говоря, состоит в том, что смесь полезного вещества и пустой породы подается по конвейеру мимо полюсов магнита. Если пустая порода магнитна, то она будет извлечена из смеси. Принцип магнитного сепаратора был предложен еще в 1792 году, то есть до изобретения электромагнита. Затем на аналогичный сепаратор с электромагнитами был дан патент в 1847 году Артуру Воллу. За Воллом последовал в 1854 году Шено, получивший патент на сепаратор с вращающимися магнитами.

Магнитный метод разделения полезной и пустой породы применяют сейчас во многих отраслях горнодобывающей промышленности и, в частности, в угледобывающей промышленности, где он начинает конкурировать с мокрым методом обогащения.

Сейчас почти повсеместно уголь обогащают в специальных отсадочных или флотационных установках. И отсадочный и флотационный методы являются мокрыми, так как процесс обогащения происходит в воде, в результате чего и порода и угольный концентрат получают мокрыми и нуждаются в сушке — а это, в свою очередь, приводит к необходимости большого расхода (тысячи кубометров) воды, очистки загрязненной воды и предотвращения замерзания частиц в районах с холодным климатом.

Почти все вредные примеси в угле магнитны. Это дает возможность избежать мокрых процессов, установив по ходу движения ленты с размельченной породой магнитный ребристый ролик, который захватывает вредные примеси и выносит их из породы. Такой метод очистки, позволивший снизить зольность



угольной мелочи с 12—17 до 7—8 процентов, был впервые предложен и испытан в Советском Союзе.

А как очистить породу, например, от пирита, который немагнитен? Здесь ученые тоже нашли выход — пирит пропаривается в паровоздушной среде при 270—300° и покрывается слоем магнитных окислов.

Другой тип сепаратора был изобретен в восьмидесятых годах прошлого века Эдисоном.

Говорят, что это произошло во время одной из ежедневных утренних прогулок Эдисона. Гуляя по берегу Лонг-Айленда, Эдисон заметил, что песок пляжа содержит частички окиси железа. Если бы просыпать такой песок между полюсами магнитов, можно было бы легко отделить немагнитные частицы от окиси железа. Эта идея Эдисона решила одну из проблем того времени — что делать с залежами руды, в которой содержание железа невелико?

Эдисон предложил преобразовать руду таким образом, чтобы она была похожа на легко разделяемый песок пляжа — попросту говоря, размолоть ее. После размолв в дробилках руда поступает в башню и сыпается с ее вершины. При падении частицы встречают все усиливающиеся магнитные поля нескольких мощных электромагнитов. Магнитная окись железа оседает на магнитах и снимается с их наконечников, а пустая порода беспрепятственно падает вниз.

Благодаря этому изобретению Эдисона залежи железной руды в штате Нью-Джерси, ранее считавшиеся промышленно бросовыми, стали рентабельны и для их разработки был построен целый город.

Не удивительно, что этот город был назван Эдисон-сити.

Магнитные сепараторы применяются и в сельском хозяйстве для разделения семян клевера, льна, люцерны от семян сорняков. Инженеры воспользовались здесь оружием врага и обратили его против него самого. Дело в том, что семена сорняков (горчак, плевела), как правило, более шероховаты, их поверхность покрыта миниатюрными зацепками, позволяющими этим семенам прикрепляться к коже животных, одежде и т. д., что помогает сорнякам в их быстром распространении и борьбе за существование. Если засыпать загрязненные сорняками семена мелкими железными опилками, на семенах сорняков скопится их большое количество, в то время как гладкие семена злаков останутся чистыми.

Теперь можно с легкостью очистить зерно от сорняков в устройстве типа магнитного сепаратора.

Очень сходный метод используется сейчас и при... поимке преступников. Часто пото-жировые отпечатки пальцев, оставленные нарушителями на месте преступления, очень слабы и вдобавок ко всему оставлены на каком-нибудь материале с грубой фактурой — досках, фанере, картоне. Криминалист В. Сорокин предложил вместо существующего способа опыления следов цветными порошками использовать в подобных случаях магнитную кисть, представляющую собой небольшой магнит с узким полюсом, который проносится над исследуемой поверхностью в нескольких направлениях.

Перед этим магнит опускают в сосуд с мельчайшими железными опилками. Опилки облепляют полюс в виде всем известной «бороды» магнита. Эта «борода» и играет роль тончайших щетинок кисти. При проведении магнитной кистью над загрязненной поверхностью железные пылинки на конце «бороды» прилипают к пото-жировому веществу следа и окрашивают его в характерный темно-серый цвет. Незагрязненная поверхность остается чистой. Окрашенные железной пылью отпечатки пальцев очень хорошо копируются на дактилоскопическую пленку.

Это не единственное применение магнита в криминалистике. Недавно в журнале «Советская милиция» сообщалось о портативном мощном электромагните, используемом для добычи вещественных доказательств со дна водоемов. В том же номере описывается случай, когда следователю с помощью этого электромагнита удалось обнаружить на дне заброшенного пруда топор, которым было совершено преступление.

Этот же принцип используется для подъема железных предметов с затонувших судов.

Подъемные магниты сейчас очень широко используются там, где необходимы особо большие усилия и несложные крепления. Например, в знаменитом батискафе профессора Пиккара, исследовавшего глубочайшие океанские впадины, мощный электромагнит был использован для удержания железного балласта.

В случае аварии Пиккар мог разорвать цепь питания электромагнита — это привело бы к освобождению батискафа от балласта, и он немедленно всплыл бы.

Электромагниты использовались и на транспорте. Так, для улучшения сцепления колес вагонок с рельсами (увеличение трения) инженеры еще в 1910 году применили подмагничивание колес с помощью электромагнитов. Используя электромагнит, удалось увеличить коэффициент трения и, следовательно, вес

поднимаемого груза в три раза. Аналогичные опыты были в широком масштабе поставлены в Советском Союзе в 1960 году.

Этим, безусловно, не ограничиваются возможности применения магнитов на транспорте. Существует, например, известный проект магнитной дороги инженера Вейнберга, на которой вагончики могли бы, двигаясь в безвоздушной среде по трубе и будучи подвешены в магнитном поле, развивать очень высокую скорость (порядка 1000 км/час).

Проект дороги системы Вейнберга вряд ли будет когда-либо осуществлен из-за ее высокой стоимости; однако небольшие модели ее были выполнены и до сих пор применяются для транспортировки грузов, например на Московском почтамте.

Может быть, более жизненной окажется идея, выдвинутая инженерами фирмы «Вестингауз», предложившими использовать «магнитные подушки» для электровоза. В конструкции американских инженеров магниты, вмонтированные в корпус электровоза, создадут отталкивание между электровозом и железными направляющими рельсами, что позволит обойтись без колес и поднять скорость поездов до 250 километров в час. Испытания моделей таких электровозов дали обнадеживающие результаты.

Электромагниты намечается также использовать для стыковки кораблей в космосе. Другим немаловажным космическим применением электромагнитов будет магнитная обувь космонавтов.

Посмотрите рисунок на вклейке. Что это? Человек ходит вверх ногами? Да, это так. Человек получает такую возможность, надев магнитные ботинки, то есть ботинки, в подошву которых вмонтированы небольшие, но мощные электромагниты. На рисунке показано испытание французскими инженерами такой магнитной обуви. Она будет, по-видимому, незаменимой в условиях невесомости, да и не только в условиях невесомости, но и при всевозможных ремонтных работах на земле.

В военные годы беспокойная мысль конструкторов электромагнитов сразу же нащупала военное русло их применения. Непосредственно перед войной были изобретены магнитные мины, то есть мины, запал которых приводится в действие за счет притяжения бойка небольшим электромагнитом или за счет поворота магнитной стрелки стальной машиной корабля.

Другим, значительно более проблематичным предложением явилась идея использовать мощный электромагнит для ловли ядер противника. Предполагалось осуществить эту идею следующим образом: на корабле устанавливается «лицом» к про-

тивнику мощный электромагнит, полюс которого покрыт прочной броней. Ядра неприятеля притягиваются этим магнитом и попадают на броню. Остальная часть корабля может быть незащищенной.

Вот как описывает А. Конан-Дойль в своем произведении «Письма доктора Монро» беседу изобретателя такой системы защиты с посетителем. «Я нашел способ,— говорит доктор Коллингворт,— какой именно, не стану рассказывать,— увеличить во сто раз притягательную силу магнита. Вы понимаете это?

— Да.

— Очень хорошо. Позвольте мне показать маленький опыт. Он наклонился над своим аппаратом, и я услышал треск.

— Это,— продолжал он,— пистолет. Я вставляю в него патрон со стальной пулей, сделанной специально для опыта. Целюсь в кружок сургуча на стене на четыре дюйма выше магнита. Я стреляю без промаха. Стреляю! Теперь подите и убедитесь, что пуля сплюснулась о магнит, а затем оправдайте предо мной ваш смех.

Я подошел и убедился, что вышло так, как он сказал.

— Ну, еще бы! Вы видите, спорить не о чем. Мой военный корабль снабжен на носу и корме магнитами, которые во столько же раз более этого, во сколько раз пушечное ядро больше пули. Вот он вступает в дело. Что же выходит, Монро? А, что? Каждое ядро, пущенное в мой корабль, расплющивается о мой магнит! Вы только представьте себе это, старина!»

Ну, а свои ядра? Не будут ли и они притягиваться магнитом и бить в собственный корабль?

— Нет,— отвечает изобретатель,— ядра, пущенные со своего корабля, будут обладать большой скоростью и в силу этого не будут захватываться магнитом. Неприятельские же ядра будут уже на излете и в силу их малой скорости будут биться о магнит, не задевая корабля.

Конечно, такой проект вряд ли осуществим. Стрельба со своего корабля будет малоэффективной, так как траектория будет искажена магнитом, вследствие чего прицельный огонь был бы невозможен. С другой стороны, и это особенно важно в данном случае, для искривления пути неприятельских ядер понадобился бы такой мощный магнит, который и в настоящее время ученые построить не в состоянии.

Нужно, однако, отметить, что проект защиты фортов от ядер противника, к сожалению, не остался лишь на бумаге. Магнит-броня, заранее обреченный на бездействие, был построен. Это произошло благодаря тому, что техника расчетов магнитного

поля в прошлом веке была недостаточно разработанной и заранее знать, каково будет поле магнита, и следовательно, его эффективность, было нельзя.

Так, в 1887 году майор американского флота В. Кинг приказал сделать гигантский электромагнит из двух крупнейших береговых орудий, калибром 36 сантиметров, поставленных рядом в форте Виллетс-Пойнт. Магнитная цепь замыкалась с помощью притороченных к пушкам железнодорожных рельсов. Пушки, каждая из которых была по пять метров длиной и весила 25 тонн, были обмотаны многожильным торпедным кабелем длиной 14 миль. Для питания использовался электрогенератор, обычно применявшийся для ламп прожекторов. При включении тока к жерлам пушек притягивались толстые стальные плиты, которые могли быть оторваны лишь при усилии 10 тонн. У жерла пушки могли висеть, как гроздь, одно под одним, четыре ядра, каждое весом 120 килограммов.

Те, у кого в карманах или руках были небольшие стальные предметы, начинали чувствовать приближение к пушке за 2 метра. Действие же пушек на магнитную стрелку, как писали авторы, распространялось более чем на 10 километров! Что же касается неприятельских ядер... их пушка не притягивала.

Надежды майора Кинга на то, что магнитная пушка будет полезна уже тем, что будет «сбивать с толку» стрелки компасов неприятельских кораблей при их подходе к форту, тоже были необоснованны. Дело в том, что на самих кораблях имеются сотни различных магнитов и массивных стальных устройств (кабестаны, пушки), которые, не будь приняты специальные меры, не дали бы возможность правильно вести судно (помните, как топор, положенный под примитивный незащищенный компас в «Пятнадцатилетнем капитане», привел корабль совсем в другую часть света?). Существует специальная наука «компасное дело», в которой отрабатываются способы защиты от магнитных полей своих корабельных устройств, не то что от полей хотя и мощного, но далекого магнита — гигантской магнитной пушки.

Особым толчком к развитию этой науки послужили аварии у берегов Ирландии в 1860 году двух пассажирских пароходов, при которых было большое число жертв; эти аварии произошли за счет погрешностей компаса.

С целью «одурачивания компасов» на кораблях противника был выполнен один из самых грандиозных и необычных магнитов.

В 1887 году американский военный бронированный корабль «Атланта» был обмотан электрокабелем длиной в несколько

милль. Затем по кабелю был пропущен ток от двух динамо-машин, и корабль превратился в электромагнит со стальным сердечником. Опыты, которые проводил офицер Брэдли Файск, оказались неудачными. Корабль был большим, но не сильным магнитом.

Неудача постигла и идею Брэдли Файска использовать корабль-магнит для установления нового вида связи на море.

Преувеличение силы притяжения магнита характерно и для литературных произведений того времени. Вот, например, как описывает Курт Лассвиц в своем романе «На двух планетах» битву землян с марсианами:

«С оглушительным криком «ура» кинулись неудержимо вперед блестящие ряды кавалеристов. Ужас, леденящий сердце, охватил случайных зрителей атаки. Казалось, самоотверженная решимость войска принудила марсиан к отступлению. Между их воздушными машинами началось какое-то движение, и они поднялись вверх. Но одновременно сверху спустилось какое-то тело, подобно широко развевающемуся покрывалу; тело это, со всех сторон окруженное воздушными кораблями, быстро развернулось над полем сражения. Вот уже первый ряд всадников попал в район его действия, и тогда странная машина распростерлась над всем полком. Действие машины было неожиданно и так чудовищно, что двинувшаяся навстречу полку группа принцев и генералов замерла на месте. С поля донесся пронзительный вопль ужаса. Ни один конь не удержался на ногах, лошади и всадники каким-то чудовищным спутанным клубком валялись на земле, а воздух был наполнен густой тучей копий, сабель и карабинов, с громом и треском летевших вверх к притягивавшей их машине, к которой они и прилипали.

...Не нашлось ни одной руки, которая оказалась бы в силах удержать саблю или пику, а в тех случаях, когда всадник не выпускал оружия, — машина поднимала его вместе с лошастью.

...Машина была новым могущественным изобретением марсиан. ...Это магнитное поле колоссальной силы и громадного притяжения».

Магнитное притяжение находило все новых приверженцев не только среди ученых, инженеров, писателей, но и... мистификаторов. Вот одна из на шумевших в свое время историй.

Как-то в одном западном военном ведомстве произошел большой переполох. Ведомство всегда осаждали изобретатели, одни из которых предлагали сверхдальнобойные пушки, другие — сверхмощные взрывчатые вещества. И на этот раз изобретатель предлагал новое взрывчатое вещество. Но удивительное было

не в этом. В противоположность другим изобретателям он предлагал сразу же посмотреть на свое изобретение в действии. Была составлена авторитетная комиссия, которая прибыла в лабораторию изобретателя.

Посреди лаборатории стоял стол. На этот стол насыпалась щепотка новой взрывчатки, на которую ставился тяжелый, в несколько пудов, кусок железа. Изобретатель замыкал ток в цепи, «поджигавшей» новую взрывчатку, и громадная железная глыба подлетала к потолку. Падая обратно, она чуть не в щепы разбивала стол.

Военные были потрясены. Об открытии пронюхали газетчики. Всю прессу наводнили сообщения о новом сверхмощном взрывчатом веществе, которое сулило целый переворот в военном деле. Но вот что было удивительно — руководитель военного ведомства не привлекал к ответу газетчиков, разглашавших новую военную тайну. Наоборот, он всячески поощрял их.

Изобретатель получил солидную сумму денег и... скрылся в неизвестном направлении. Это показалось подозрительным, и эксперты произвели обследование заброшенной лаборатории. И вот что оказалось: прямо над потолком лаборатории, в комнате наверху, был установлен мощный электромагнит. Замыкая цепь для взрыва, изобретатель замыкал цепь электромагнита. Железная глыба подсакивала к потолку, к магниту. Для того чтобы глыба «не прилипла» к потолку, цепь электромагнита тотчас же разрывалась и глыба летела вниз.

Знал ли руководитель военного ведомства об этом, остается загадкой. Однако психологическое воздействие на другие страны газетная шумиха оказала большое.

Другой классический случай относится ко времени покорения французами Алжира. В это время французы всячески пытались доказать свое превосходство перед алжирцами. И в этом им определенно помог элементарный фокус, который один француз показывал в бродячем цирке. Интересно, что этот француз — Роберт Гудэн — отправился в Алжир по поручению своего правительства. Вот как сам Гудэн описывает свой фокус:

«На сцене находится небольшой окованный ящик с ручкой на крышке. Я вызываю из зрителей человека посильнее. В ответ на мой вызов выходит араб среднего роста, но крепкого сложения, представляющий собой аравийского геркулеса. Выходит он с бодрым и самонадеянным видом и, немного насмешливо улыбаясь, останавливается около меня.

— Очень вы сильны? — спросил я его, оглядев с ног до головы.

— Да,— отвечал он небрежно.

— Уверены ли вы, что всегда останетесь сильным?

— Совершенно уверен.

— Вы ошибаетесь: в одно мгновение ока я могу отнять у вас силу, и вы сделаетесь слабым, подобно малому ребенку.

Араб презрительно улынулся в знак недоверия к моим словам.

— Подойдите сюда,— сказал я,— и поднимите ящик.

Араб нагнулся, поднял ящик и высокомерно спросил:

— Больше ничего?

— Подождите немножко,— отвечал я.

Затем, приняв серьезный вид, я сделал повелительный жест и произнес торжественным тоном:

— Вы теперь слабее женщины. Попробуйте снова поднять ящик.

Силач, нисколько не уstraшаясь моих чар, опять взялся за ящик, но на этот раз ящик оказывает сопротивление и, несмотря на отчаянные усилия араба, остается неподвижным, словно прикованный к месту. Араб пробует поднять ящик с такой силой, которой хватило бы для поднятия огромной тяжести, но все напрасно.

...Утомленный, запыхавшись и сгорая от стыда, он наконец останавливается. Теперь он начинает верить в силу чародейства и раздумывает, не бросить ли ящик. Но это значило бы признать себя побежденным, сознаться в собственной слабости, а он всегда славился своей силой. «Отныне его все будут считать слабым, как ребенка» — эта мысль приводит его в ярость, он собирает все свои силы и, поощряемый взглядами и словами друзей, решается доказать, что сына пустыни не так легко победить. Он снова нагибается, чтобы поднять ящик. Крепкие руки его схватывают за ручку ящика, а ноги подобно бронзовым колоннам служат опорой для отчаянной попытки. Казалось, что ящик не выдержит такого напора и разлетится вдребезги, но происходит странное явление: самоуверенный силач вдруг поник головой, его руки остаются прикованными к ящику и не могут оторваться вследствие сильных сокращений мышц, ноги его дрожат, и наконец он с болезненным криком падает на колени. Дело в том, что по моему знаку помощник мой в этот момент пропустил сильный ток в ручку ящика; сильный электрический разряд и был причиной корчей бедного араба. Продолжать его страдания было бы жестоко, я подал вторичный знак, и ток был прекращен. Несчастный силач, освободившись от страшного положения, в котором находился, поднял руки к небу: «Аллах,



Аллах», — произнес он, дрожа от страха; затем поспешно вернулся в бурнус, как бы желая скрыть свое смущение, и порывисто бросился, расталкивая зрителей, к дверям залы».

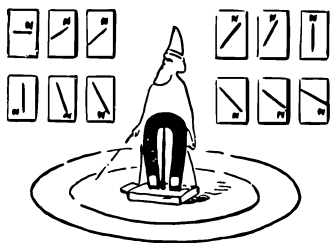
Как можно легко догадаться, фокус был элементарен. Под ковром был скрыт мощный электромагнит, в обмотках которого во время подъема сундука арабом протекал ток. Когда к сундуку подходил француз, ток выключался и поднять сундук ничего не стоило.

Другой цирковой мистификатор путешествовал по Европе. В середине 80-х годов в Европе пронеслась молва об ученом слоне, который мог не только складывать и вычитать, но даже умножать, делить и извлекать корни. Делалось это следующим образом. Дрессировщик, к примеру, спрашивал слона:

— Сколько будет семью восемь?

Перед слоном стояла доска с цифрами. После вопроса слон брал хоботом указку и уверенно показывал цифру «56». Точно так же производилось деление и извлечение квадратного корня. Фокус также был достаточно прост: под каждой цифрой на доске был спрятан небольшой электромагнит. Когда слону задавался вопрос, в обмотку магнита, расположенного под цифрой, означющей правильный ответ, подавался ток. Железная указка в хоботе слона сама притягивалась к правильной цифре. Ответ получался автоматически. Несмотря на всю простоту этой «дрессировки», секрета фокуса долгое время не могли выяснить, и «ученый слон» пользовался громадным успехом.

На рубеже девятнадцатого и двадцатого столетий большой шум наделали так называемые спиритические сеансы. Сеансы эти проводились по-разному, однако суть их всех сводилась к тому, что спирит, или медиум, ведущий этот сеанс, получал тем или иным способом сигналы из загробного мира. С помощью этих сигналов участники спиритических сеансов могли «связаться» с любым умершим лицом — великими полководцами и



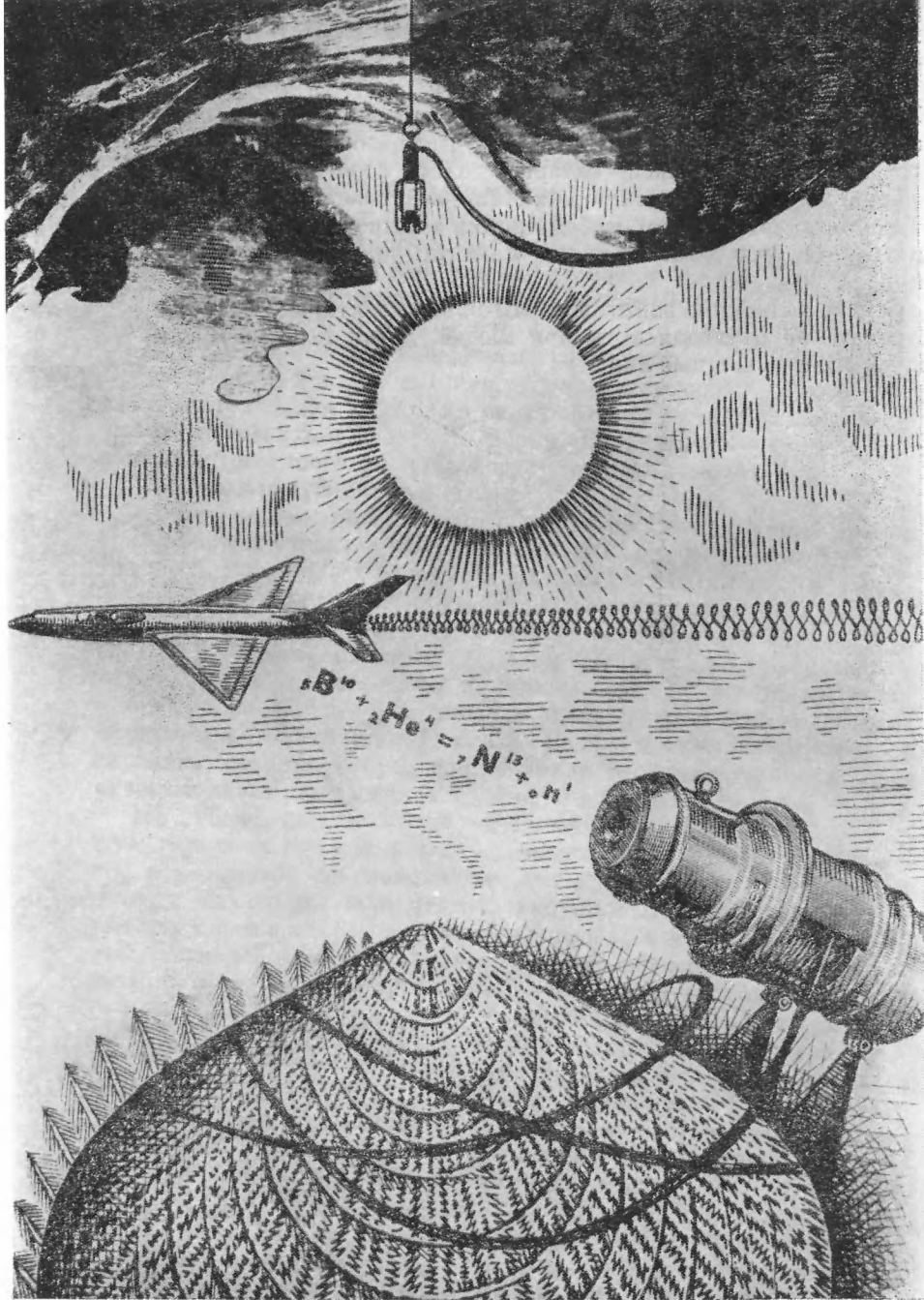
Магнитный оракул и объяснение его «магических свойств».

куртизанками древности, умершими родственниками и так далее. Сигналы из загробного мира были различны. Иногда это были толчки стола, на котором лежали руки людей — участников сеанса.

«Стучащие» столы для спиритических сеансов пользовались в то время большой популярностью. Они представляли собой

обычные дешевые столы с одной ножкой, на которой была укреплена столешница. Секрет столов был необычайно прост — в их ножке помещалась батарея, а под столешницей — небольшой электромагнит с якорем. Лицо, ведущее спиритический сеанс, могло посредством особой кнопки замыкать цепь электромагнита — в этот момент якорь магнита ударял по столешнице.

Сейчас кажется непонятным, как с помощью таких нехитрых устройств одурачивались тысячи людей, среди которых были подчас очень известные лица.



## ЭЛЕКТРОМАГНИТЫ В НАУЧНЫХ ЛАБОРАТОРИЯХ

Глава, в которой описываются трудности, встретившиеся конструкторам магнитов, причем одни из этих трудностей оказались болезнями роста, а другие вызваны были не учтенными раньше физическими явлениями. В конце главы рассказывается немного о разделении изотопов, мазерах и, наконец, об «антикамере Вильсона» — пузырьковой камере, которая за короткое время из стеклянного баллончика превратилась в солидный лабораторный корпус.

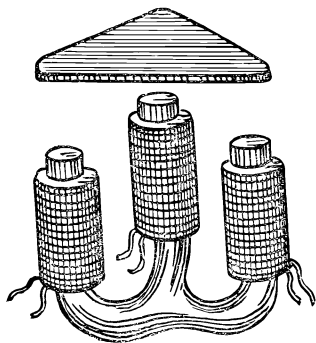
Перед тем как электромагниты стали широко использоваться в промышленности, на транспорте и во множестве других областей, их, естественно, испытывали в лабораториях. И прежде чем перейти к периоду, когда электромагниты стали средством исследования, такими, как сейчас, интересно вернуться к тем временам, когда магниты были объектом исследования, когда очевидное было не таким очевидным, когда электромагнит был скорее диювинкой, к которой неизвестно как подступиться.

Сейчас трудно себе представить, насколько тяжело было тогда проектировать магниты. Ведь даже закон Ома инженерам в то время не был известен.

Когда немецкий электротехник Георг Симон Ом положил на стол ректора Берлинского университета свою диссертацию, где впервые сформулирован этот закон, без которого невозможен ни один электротехнический расчет, он получил весьма резкую резолюцию. В ней говорилось, что электричество не поддается никакому математическому описанию, так как «...электричество — это собственный гнев, собственное бушевание тела, его гневное я, которое проявляется в каждом теле, когда его раздражают...»

...Ректором Берлинского университета был в те годы Георг Фридрих Вильгельм Гегель...

Первые магниты были сделаны «как бог на душу положит». Однако не любая форма давала хороший результат. Случайно получилось так, что Стерджен в первом же своем магните угадал очень удачную форму — подковообразные магниты изготавлиются до сих пор. Отсутствие опыта и элементарной методики расчета магнитов привело к тому, что некоторые формы магнитов, изготавливавшиеся в то время, были, на теперешний взгляд, просто абсурдными.



Как не надо строить магниты. Типичные ошибки первых создателей электромагнитов.

Между этими маленькими магнитами магнитные поля двух соседних стержней будут уничтожать друг друга.

Лабораторные магниты того периода изготавливались на глазок. Никакой теории, которая позволила бы заранее предсказывать свойства магнитов, не существовало. Первый вклад в теорию магнита внесли русские ученые Ленц и Якоби, указавшие на связь подъемной силы электромагнита и произведения силы тока в катушках на число витков.

После Ленца и Якоби крупный вклад в теорию расчета магнитов внесли англичане братья Гопкинсоны, которые предложили метод учета «насыщения» — явления, давно замеченного проектировщиками магнитов. Это явление заключается в том, что в магните заданной формы после некоторого предела нельзя никаким увеличением тока в катушках увеличить его подъемную силу. Современная теория связывает это явление с тем, что при достижении известного намагничивающего тока все ранее расположенные беспорядочно элементарные магнетики (диполи) железа (ферромагнетика) оказываются ориентированными в одном направлении и при дальнейшем усилении намагничивающего тока увеличения числа магнитиков, ориентированных в одном направлении, не происходит.

Насыщение стали привело к тому, что напряженность магнитного поля первых магнитов не превышала 20 000 гаусс.

Наступала новая эра усиления мощности магнитов, но не путем увеличения их размеров, а путем совершенствования их формы и борьбы с насыщением.

Так, трехлапый магнит, изображенный на рисунке, не мог бы успешно работать, так как магнитные потоки каждого стержня в большой мере противодействуют друг другу — поток одного стержня должен замкнуться по второму стержню, где он действует встречно собственному потоку этого стержня.

Негодной, на современный взгляд, оказывается и очень часто употреблявшаяся конструкция, в которой один магнит составлен из трех более мелких и намотанных отдельно. Ясно, что в промежутках

Нельзя сказать, чтобы эта борьба была очень успешной. За сто лет этой напряженной войны физиков с непокорным «насыщающимся» железом индукция поля в магнитах возросла всего лишь в два с половиной раза.

Над этой проблемой работали видные физики и электротехники — Фарадей, Беккерель, Томсон.

Что могли физики противопоставить природе? Только очень точный учет и полное использование природных свойств материалов. И вот появляются магниты с короткими коническими полюсами, массивными стальными магнитопроводами и громадными катушками.

Магниты быстро прибавляют в весе — теперь в большей степени за счет катушек. Если в 1881 году самый большой в мире лабораторный магнит весил около тонны, то в 1930 году уже около ста двадцати тонн.

Первым отметку «50 000 гаусс» пересек в 1903 году профессор Грей из Глазго. Ему удалось это сделать, применив мощные катушки, близко придвинутые к коническим полюсам.

Интересная идея была предложена профессором Перо в 1914 году: он предложил, кроме двух обычных катушек, располагаемых на полюсах, использовать третью, охватывающую собой рабочую зону машин. Перо достиг 51 000 гаусс.

Профессор Беккерель в Парижском музее естественной истории смог добиться к 1914 году лишь 55 000 гаусс; три других самых мощных магнита того времени — Вейсса в Цюрихе, Кайзера в Бонне и Эймса в США — работали на уровне 45 000 гаусс.

Нужно отметить, что создание Беккерелем магнита с индукцией свыше 50 000 гаусс было воспринято физиками всего мира как крупная сенсация. «Гигантский», «мощнейший», — писали об этом электромагните газеты. Всего лишь десятипроцентное увеличение поля стоило многих трудов и ухищрений. Однако самая главная роль в достижении этого поля принадлежала использованию для полюсов нового материала — сплава железа с кобальтом, который насыщается при индукции, на несколько процентов большей, чем ранее использовавшиеся материалы. Потребляя 22 киловатта мощности, электромагнит создавал в междуполюсном промежутке поле 55 000 гаусс. При замене феррокобальтовых наконечников железными поле снизилось до 52 000 гаусс.

Если расстояние между полюсами составляло 2 миллиметра и полезный объем — 14 кубических миллиметров (то есть объем, в который можно было поместить лишь небольшой образец),

то достигнутое поле составляло 59 000 гаусс. Когда объем рабочего поля был уменьшен до 0,5 кубического миллиметра (полюса по сути дела прикасались), поле возросло до 65 000 гаусс. Электромагнит был обмотан тысячью витков медной трубки, по сечению которой шел ток, а по полости — охлаждающая вода.

Магнит охлаждался так хорошо, что мог работать хоть круглые сутки. Другие магниты, не имевшие искусственного охлаждения, не могли за счет сильного нагрева работать подряд более двух часов.

Беккерель хотел при помощи этого магнита уточнить экспериментально некоторые неясные места теории Зеемановского эффекта. «Хорошо известно, — говорил Беккерель, — что в этом явлении есть еще кое-что непонятное — это кое-что вызвано недостатком зоркости наших инструментов». С помощью нового мощного магнита Беккерель хотел повысить эту «зоркость», сделать более отчетливыми неясные места теории.

Несмотря на то что все физики могли видеть, с каким трудом были получены дополнительные 5000 гаусс, некоторые из них полагали, что весь вопрос в стойкости и размерах. Сделать магнит колоссальным, вложить в него массу денег — и можно получить сколько угодно гаусс.

Надежды на то, что электромагнит гораздо большей мощности, возможно в миллион гаусс (эрстед), можно будет построить в ближайшие годы, выразили на Международном конгрессе электриков в 1914 году Гийом, директор международного бюро мер и весов, и Перрен — сорбоннский профессор физики. Они полагали, что по стоимости электромагнит будет равен военному дредноуту (12—14 миллионов долларов) и потребует для создания нескольких лет.

Однако даже такой ценой не удалось бы повысить индукцию электромагнитов до миллиона гаусс (эрстед). Даже сейчас такое длительное поле является недостижимой мечтой для физиков.

И виновно в этих «разбитых мечтах» не в последнюю очередь насыщение.

В тридцатых годах в Белле-Ви, под Парижем, вступает в строй самый большой и тяжелый из всех когда-либо построенных лабораторных магнитов. Этот магнит был построен с целью изучения магнетизма Французской Академией наук. Его отличительной особенностью, кроме громадного веса, явилось введение полюсных наконечников из особого сплава — пермендюра, который имеет несколько большую индукцию насыщения, чем

сталь. Это позволило достичь большего поля. Но и оно составляло лишь 52 000 гаусс при произведении силы тока на количество витков, равном 500 000. Длина магнита — 630 сантиметров, высота — 275 сантиметров, вес — 120 тонн.

В 1934 году в университете шведского города Уппсала вступает в строй новый мощный магнит. Он отличается от французского магнита тем, что полюсы имеют значительно большую конусность, а катушки и сам полюс имеют меньшую высоту. Этот электромагнит, рассчитанный Дрейфусом, оказался гораздо эффективнее французского. Он весит лишь 30 тонн, но с его помощью можно достигнуть в том же объеме индукции, равной примерно 58 000 гаусс. В этом магните полюса притягиваются друг к другу с силой более 60 тонн.

С тех пор было построено много мощных магнитов, но парижский и уппсальский до сего времени остаются рекордсменами — первый по весу, второй — по эффективности.

Сейчас почти каждая физическая лаборатория имеет электромагнит: магниты используются для изучения свойств веществ в сильных полях, испытания новых материалов, в современных уникальных измерительных приборах, в квантовой электронике, при исследовании взаимодействий атомных частиц, для медицинских и биологических исследований.

Эти магниты выпускаются за рубежом и в нашей стране серийно специальными фирмами. Они не являются рекордными, однако с их помощью можно при небольшом весе магнита (порядка тонн) получить в довольно значительном объеме поле в 40 000—50 000 гаусс, нужное для исследований. По сравнению с парижским или уппсальским магнитами они кажутся просто крошками.

К сожалению, нам не пришлось стать свидетелями использования магнита гораздо более грандиозного, чем уппсальский или парижский.

Самый грандиозный исследовательский магнит, который, однако, не был построен, был предложен знаменитым американским изобретателем Т. А. Эдисоном. В начале девяностых годов прошлого столетия он предложил создать необычайно мощный приемник, который бы регистрировал электромагнитные процессы на Солнце. Проект заключался в следующем. В городе Огдене, штат Нью-Джерси, есть отвесная скала из магнитного железняка, весящая не менее ста миллионов тонн. Если бы обмотать эту скалу большим количеством проволоки так, чтобы скала играла роль гигантского сердечника колоссального электромагнита, то с помощью этого электромагнита, в силу его большой



индуктивности, можно было бы следить за изменением магнитного состояния Солнца.

Сейчас, конечно, в таком магните нет необходимости. Электромагнитные процессы и Солнце можно хорошо изучать с помощью радиотелескопов и других приборов, хотя и громоздких, но все-таки в тысячи раз более легких и удобных, чем «магнитная скала» в городе Огдене. Однако для своего времени идея Эдисона была удивительно смелой и передовой.

Пример еще более смелой, но, однако, неправильной идеи можно взять из рассказа А. И. Куприна «Тост», действие которого происходит в 2906 году. Вот что сделали, по словам Куприна, ученые из «Электро-земной магнитной ассоциации».

«Они решили обратить земной шар в гигантскую электромагнитную катушку и для этого обмотали его с севера до юга спиралью из стального троса длиной около четырех миллиардов километров, на обоих полюсах они воздвигли электроприемники и соединили все уголки земли бесчисленным множеством проводов».

Грандиозность этой идеи не оправдывается здравым смыслом. Каждому школьнику известно, что электричество в катушке может возникать лишь при изменении магнитного поля, которое ее пронизывает. Эдисон хотел наблюдать именно за изменениями магнитного поля солнца. Поскольку магнитное поле земли подвержено лишь весьма незначительным изменениям, вряд ли из этого грандиозного магнита можно было бы извлечь электроэнергию и вообще какую-нибудь пользу.

Для чего же служат магниты в физических лабораториях?

Они применяются для исследования поведения веществ, помещенных в сильные поля, для исследования гальваномагнитных, термомагнитных, магнитострикционных явлений, для получения сверхнизких температур (всего лишь на тысячную градуса выше абсолютного нуля) методом адиабатического (то есть без обмена теплом между телом и окружающей средой) размагничивания. Они применяются для квантовых генераторов — мазеров и для анализа частиц по их массе в магнитных масс-спектрометрах.

Труднейшей задачей для физиков является также разделение изотопов различных элементов. Изотопы, как известно, — это атомы одного и того же элемента, в ядрах которых содержится одинаковое число протонов, но разное число нейтронов. Следовательно, массы ядер изотопов различны, и их орбиты при движении в магнитном поле тоже различны. Траектории движения

более тяжелых ядер меньше искривлены, вследствие чего легкие и тяжелые ядра движутся в магнитном поле по разным орбитам. В сильном магнитном поле могут быть разделены даже очень «похожие» изотопы.

Магниты широко используются для исследования элементарных частиц. Однако сейчас речь пойдет не об ускорителях, а о тех приборах, которые позволяют исследовать продукты бомбардировки мишеней пучком частиц ускорителей.

Все еще со школьной скамьи знают, как устроена камера Вильсона — один из наиболее важных инструментов исследователя ядерных процессов. Камеры Вильсона обычно заполняются влажным очищенным воздухом. Если в нее попадает частица с высокой энергией, эта частица разрушает атомы, попавшиеся на ее пути, вырывая из них наиболее слабые электроны. Таким образом позади частицы образуется положительно заряженная дорожка. Положительные ионы, образующие эту дорожку, могут стать центрами осаждения из воздуха водяных паров. Для того чтобы этот процесс происходил интенсивней, воздух в камере Вильсона дают возможность внезапно расшириться. Ионы «следа» начинают обволакиваться капельками воды и образуют видимый туманный след, напоминающий след реактивного самолета в небе. Этот след можно наблюдать и фотографировать. Частица, размеры которой невозможно себе вообразить, становится видимой!

Камера Вильсона позволяет проследивать столкновение частиц, образование новых частиц и является незаменимым орудием физиков-атомников.

Но вот беда: как по следу реактивного самолета в небе невозможно определить тип самолета, так и по следу частицы в камере Вильсона невозможно точно сказать, какая частица его оставила.

Выход из этого положения был найден советским физиком П. Л. Капицей, опубликовавшим в 1923 году в журнале Кембриджского философского общества небольшую статью, в которой Петр Леонидович описал некоторые свои эксперименты по наблюдению треков  $\alpha$ -частиц в камере Вильсона.

Установка П. Л. Капицы отличалась тем, что камера Вильсона была помещена у него в сильное магнитное поле. Что это давало? Мы уже знаем о том, что в магнитном поле любая заряженная частица движется по кривой, радиус которой обратно пропорционален величине магнитного поля и прямо пропорционален массе частицы.

Таким образом, зная напряженность магнитного поля и за-

мерив радиус трека частицы в камере Вильсона, мы можем узнать ее массу и энергию.

Идея П. Л. Капицы нашла многих приверженцев. Среди них был и американец К. Андерсон. Андерсон изготовил в 1932 году камеру Вильсона, размещенную внутри крупного электромагнита со стальным сердечником и полем около 20 000 эрстед. Полюса магнита были сконструированы таким образом, что создаваемое магнитное поле было совершенно однородным, то есть во всех точках камеры Вильсона была одинаковая напряженность. Это давало возможность более точно определять энергию частицы. Андерсон, кроме энергии, интересовался еще и знаком заряда частицы. При заданном направлении магнитного поля и известном направлении движения частицы, положительно заряженные, будут отклоняться в одну сторону, а отрицательно заряженные — в другую.

Исследуя вильсонограммы (так называются фотографии следов в камере Вильсона) космических лучей, Андерсон внезапно увидел совершенно поразительную вещь — частица, по импульсу аналогичная электрону, отклонялась магнитным полем так, как если бы она была заряжена положительно. С другой стороны, Андерсон твердо знал, что электрон так отклоняться в магнитном поле не может, поскольку он обладает отрицательным зарядом и должен отклоняться в противоположную сторону.

Противоречия можно было бы примирить, если бы приписать этому «электрону» положительный заряд. Существование такого «антиэлектрона», обладающего положительным зарядом, было предсказано в 1928 году совсем молодым английским физиком Полем Дираком из анализа квантовых уравнений движения электрона.

Частица, открытая Андерсоном, оказалась антиэлектроном, или, как его теперь называют, позитроном. Это была первая попавшая в руки человека частица из антимира. Ее открытие было бы крайне затруднительно без магнитного поля, без притяжения мощного магнита. Так, академик Д. В. Скобельцын, напавший на след позитрона гораздо раньше Андерсона, упустил его, поскольку магнит Скобельцына давал поле лишь в 3000 эрстед.

Камера Вильсона была незаменимым лабораторным устройством до тех пор, пока энергии изучаемых в ней частиц были относительно невелики. Но в пятидесятых годах в СССР, США и других странах вступил в строй ряд гигантских ускорителей, способных сообщать частицам колоссальную энергию. Эта энер-

гия была столь велика, что частицы беспрепятственно пронизывали камеру Вильсона и почти не отклонялись магнитным полем. Это и не удивительно — камеры Вильсона заполнены газом, почти не представляющим собой преграды для частиц. Для того чтобы исследовать частицы, необходимо было исследовать их по-другому.

Это «по-другому» было найдено американцем физиком Дональдом Глезером, учеником Андерсона. И если Андерсон открыл позитрон — антиэлектрон, то заслуга Глезера была не меньшей — он открыл «антикамеру Вильсона» — пузырьковую камеру.

Поучительна история этого открытия. Поучительна потому, что она еще раз убедительно показывает, что человек, одержимый какой-то идеей, способен увидеть в известных вещах только ему одному понятные намеки и ассоциации, приводящие в конце концов к радостному крику: «Эврика!»

Дональд Глезер в течение долгого времени мучительно искал материал — твердый или жидкий, находящийся в таком неустойчивом равновесии, которое могла бы разрушить даже одна-единственная атомная частица. В этом случае частица, непредставимо эфемерная, могла бы оставить за собой видимый глазом след, который состоял бы, например, из пузырьков испарившейся жидкости. Временами Глезер терял надежду — слишком ничтожной казалась вероятность испарить энергией единственной частицы хоть сколько-нибудь заметное количество жидкости.

Однажды Глезеру попалась на глаза тридцатилетней давности статья Ф. Кенрика, К. Гильберта и К. Визмера о странной жидкости — диэтиловом эфире, нагретом до  $140^{\circ}\text{C}$ . «Странность» этой жидкости заключалась в том, что при этой температуре жидкость обязательно бурно вскипала, однако всегда через различные промежутки времени. Проведя тридцать экспериментов, авторы убедились в том, что промежутки времени перед вскипанием этой «капризной» жидкости образовывали ряд, соответствующий закону случайных событий.

Как говорят романисты, «догадка пронзила мозг» Глезера. Он засел за расчеты, которые уверенно показали, что частота вскипания жидкости в точности соответствует возможности попадания в колбу космических лучей — то есть отдельных атомных частиц с высокой энергией! Так была открыта первая жидкость, пригодная для использования в пузырьковой камере, за создание которой Дональд Глезер через несколько лет получил Нобелевскую премию.

Пузырьковая камера действительно может быть названа

«антикамерой Вильсона» — если в камере Вильсона след частицы составлен капельками жидкости, освещенными на ионизированных атомах, то в пузырьковой камере, наоборот, след состоит из пузырьков газа, образовавшихся в исходной жидкости за счет тепла, выделенного при образовании «энергичной частицей» заряженных ионов. В пузырьковой камере применяют органические жидкости или оживенные газы. Полезные объемы пузырьковых камер различны — от долей литра до сотен литров. Соответственно различаются и магниты, используемые с этими пузырьковыми камерами. Например, для советской фреоновой камеры диаметром 115 сантиметров и глубиной 50 сантиметров изготовлен магнит с полем 26 500 эрстед. Этот магнит весит семьдесят две тонны.

Существуют еще более крупные камеры и магниты. В США построена, например, жидководородная пузырьковая камера объемом в 600 литров. В Советском Союзе, в Дубне, недавно пущена крупнейшая в мире пропановая камера диаметром в 2 метра. Эта камера установлена на одном из антипротонных каналов дубненского синхротрона.

Самая крупная французская пузырьковая камера, двухметровая «Мирабель», вскоре будет установлена на Серпуховском синхротроне, где на ней будет осуществляться совместная работа советских и французских ученых.

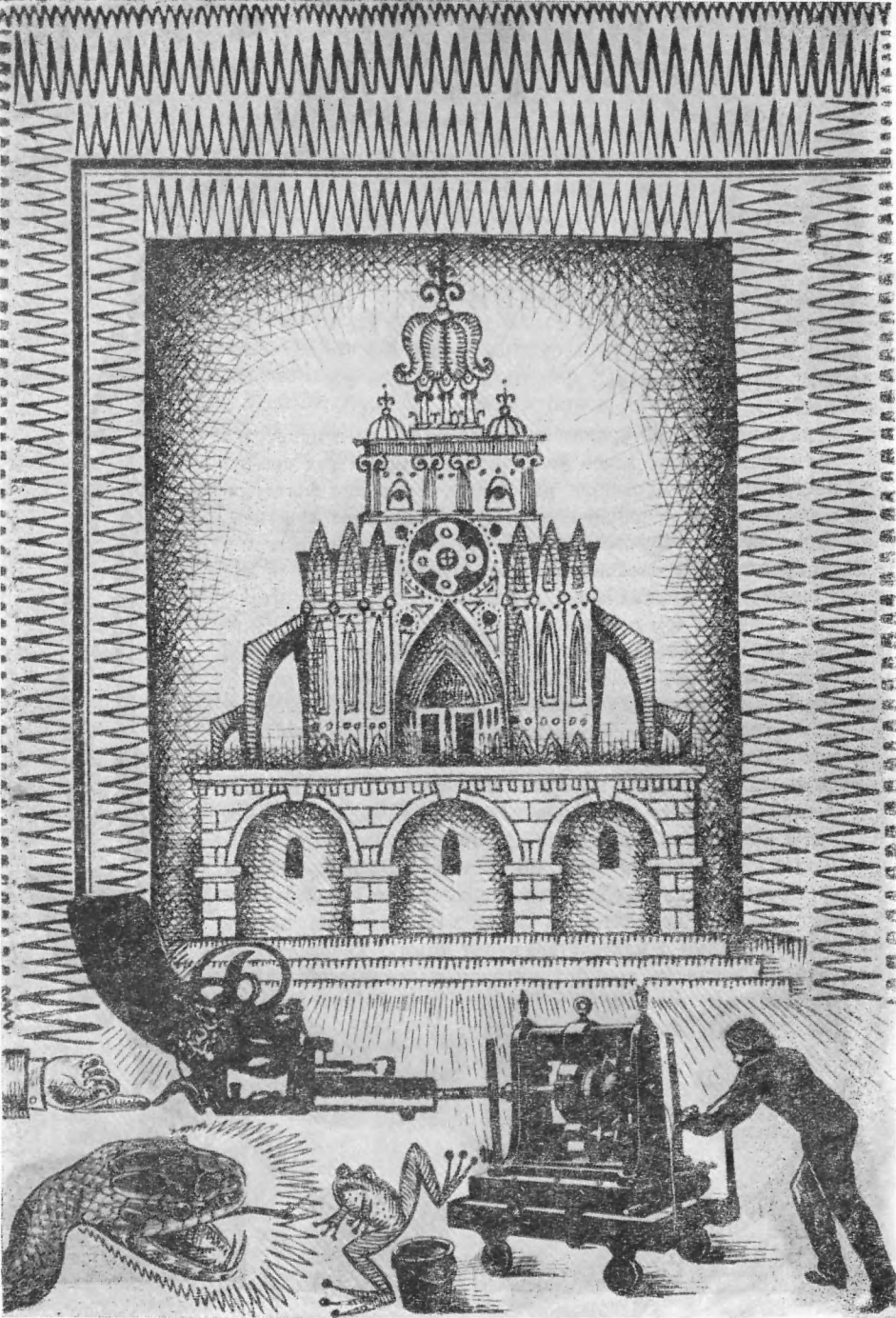
А физики составляют новые проекты — ждет своей очереди жидководородная камера диаметром в семь метров для изучения всепроникающей частицы нейтрино.



## ЧАСТЬ ВТОРАЯ. СВЕРХОРУЖИЕ НАУКИ

О людях эпохи, об уровне развития ее науки и искусства мы судим прежде всего по сохранившимся с тех времен памятникам. Египетские пирамиды, римские акведуки, русские иконы, флорентийские фрески, пещеры Аджанты, средневековые европейские соборы, более близкие к нам по времени плотины и телескопы являются уникальными символами ушедших эпох, подчас больше говорящими о тех временах, чем пухлые тома хроник. А среди памятников, которые оставит после себя наш беспокойный век, быть может, наиболее яркими будут заброшенные к тому времени гигантские ускорители. В них, отраженные разными гранями кристалла времени, будут собраны самые яркие приметы ядерного века — состояние его науки, техники, искусства, его материальные возможности и даже отношения между людьми и народами. Ускорители — это наши пирамиды... Пирамиды ядерного века...

Люди, причастные к этим творениям, окружены заботой и вниманием, на них смотрит с завистью и восхищением весь мир, они находятся на самом переднем крае человеческого знания и мастерства, перед ними — неизведанные глубины вечности, космоса, материи, человеческой души... Счастливы те известные и безвестные избранники, которые создают современные ускорители — пирамиды ядерного века...



## ПИРАМИДЫ ЯДЕРНОГО ВЕКА

Глава, в которой говорится о гигантских жерлах магнитов, изрыгающих из себя рой атомных частиц исполинской энергии. О «великом мастре» и безвестных строителях ускорителей. О том, как миллионы бросались в ненасытные жерла, не способные снабдить необходимой энергией капризные частицы. И о том, как появились две статьи, впоследствии зачитанные до дыр, которые дали ученым удивительное средство для обуздания обитателей микромира.

...Это очень человеческая черта — присваивать одной, яркой и незаурядной личности заслуги, которые правильнее было бы отнести ко многим. Так было с Колумбом — безвестные и известные предтечи его не могут в памяти человеческой претендовать на что-либо, кроме роли персонажей барельефов на памятнике великому мореплавателю.

Так стало и с Лоуренсом. Как Колумб не открыл Америки, так Лоуренс не изобрел циклотрона — ускорителя атомных частиц, который умудрился за короткое время, за счет неутомимого любопытства физиков, вырасти до исполинских, невероятных прежде размеров. До Лоуренса, вместе с Лоуренсом и после него было много талантливых ученых, которые были бы вправе разделить с ним честь открытия. Так, можно было бы упомянуть харьковских физиков, испытывших на два года раньше Лоуренса устройство, напоминавшее циклотрон. Можно упомянуть и многих других. Но спросите любого физика:

«Кто изобрел циклотрон?»

И он ответит без колебаний:

«Лоуренс».

...Человек, который проходил по захламленной территории Калифорнийского университета в 1932 году, мог заметить небольшое, буквально разваливающееся на глазах здание, размещавшееся на пути в учебные химические лаборатории. Из здания доносился нутужный вой генераторов, кругом сыпались искры, тлели огоньки в ртутных выпрямителях. Все вокруг было залито светом мощных ламп. Вокруг суетились какие-то люди.

Здесь создавался циклотрон.

Руководил работами Эрнест Лоуренс.

Жизнь Эрнеста Лоуренса напоминает жизнь типичного счастливого. Да, у Лоуренса были все основания быть счаст-



ливчиком. Как и большинство видных физиков своего времени, Лоуренс учился в нескольких университетах — Миннесотском, Чикагском и Йельском. Еще раньше, в школе, его интерес к физике был поддержан профессором Эйкли. В Йельском университете Лоуренс получает степень доктора философии (примерно соответствует нашему кандидату физико-математических наук) за его исключительные способности к экспериментированию. Так, во время обучения в Йельском университете еще в 1925 году он предложил метод цветного телевидения, а позже самостоятельно построил такой цветной телевизор<sup>1</sup>; он предложил способ измерения отрезков времени порядка одной миллионной секунды и т. д.

Особый интерес Лоуренса вызывало в то время ускорение ионов. Однажды, занимаясь в библиотеке, Лоуренс прочел статью одного немецкого автора по этому вопросу.

Автор статьи писал о двух вакуумированных трубках, между которыми было электрическое поле. Заряженная частица, перескакивая из трубки в трубку, значительно увеличивала свою энергию.

«А почему бы,— подумал Лоуренс,— не соединить подряд четыре, десять, сто трубок? Тогда мы могли бы в соответствующее число раз увеличить и энергию частицы, может быть, довести ее до такой, которая будет достаточна, чтобы разбить атом?.. Наверное, это возможно... Но тогда установка будет очень длинной — может быть, несколько километров в длину... А что, если свернуть эти трубки в спираль? Тогда они будут уместаться на небольшом пространстве... Но частицы движутся прямолинейно... как заставить их бежать по спирали?.. Частицы движутся прямолинейно не всегда,— попав в магнитное поле, частица начинает двигаться по кругу... Значит, нужно применить магнитное поле — разместить эту спираль из трубок между полюсами магнита...

...Так Лоуренс открыл принцип действия циклотрона. Это открытие оказало неизгладимое воздействие не только на всю последующую жизнь Лоуренса, но и на дальнейшее развитие ядерной физики.

Однако идея — это еще не все. И хотя две небольшие модели, построенные сразу же Лоуренсом, показали правильность нового принципа, нужно было довести этот принцип до возмож-

---

<sup>1</sup> К слову сказать, в 1965 году японскими фирмами выпущен в продажу цветной транзисторный телевизор, работающий на принципе Лоуренса.

ности его практического использования. И вот в течение пяти лет Лоуренс вместе со своими студентами работает над проблемами обеспечения сверхвысокого вакуума, создания мощных высокочастотных генераторов, подбора магнита.

Нужно было спешить. Ускорители того времени уже давали протоны с энергией до 0,8 Мэв (то есть 800 000 электрон-вольт; электрон-вольт — это энергия, приобретаемая электроном под влиянием разности потенциалов в один вольт). Согласно работам Резерфорда и некоторым выводам волновой механики, протоны с энергией около 1 Мэв должны расщеплять атомы. Честь первым расщепить атом была настолько заманчива, что за нее с колоссальным энтузиазмом боролись несколько всемирно известных лабораторий.

Под руководством Резерфорда работали Кокрофт и Уолтон в Кембридже. Это были самые опасные для Лоуренса соперники. Манера исследования Резерфорда заключалась в максимальной простоте, изяществе и чистоте опытов.

На горе Дженеросо в Швейцарии европейские физики Браш, Ланж и Урбан делали попытки использовать для ускорения протонов молнию — это дало бы им сразу очень значительный перевес над соперниками, поскольку разность потенциалов, которую можно было бы получить с помощью молнии, очень велика и частицы были бы ускорены молнией до 15 Мэв и выше. Исследователи натянули между соседними скалами металлическую сетку. Во время гроз на этой сетке скапливался значительный положительный заряд. Однажды ученым удалось получить искусственную молнию длиной около 5 метров. Это означало, что достигнута энергия 10 Мэв. Однако эта энергия стоила очень дорого — в результате несчастного случая погиб доктор Урбан...

Тем не менее гонка за первенство в расщеплении атомного ядра продолжается. И у Лоуренса были все шансы быть первым.

Он всегда улыбался, как будто следовал лозунгам, повсюду развешанным в Америке: «Смайл! Улыбайтесь!» Он не признавал никаких препятствий: ни финансовых, ни научных, ни технических. Он игнорировал трудности экспериментального характера и, что гораздо опасней, теоретического характера.

Небольшое деревянное здание, в котором производились первые эксперименты Лоуренса, положило начало грандиозной радиационной лаборатории в Беркли, раскинувшейся над морем на живописных холмах Сан-Франциско, где впоследствии был установлен гигантский фазотрон, на котором было сделано одно из волнующих открытий нашего времени — открытие антипротона.

«Антимир начинается в Беркли», — с гордостью говорили берклийцы следующих поколений, купающихся в славе и долларах.

Но когда Лоуренс приступал к строительству первого циклотрона, у него была только идея, тысяча долларов и уверенность в том, что он все может, не такая уж удивительная для «счастливчика».

Первое, с чего нужно было начинать, — это сделать магнит. Однако такой традиционный подход потребовал бы слишком много времени, и поэтому Лоуренс купил громадный восьмидесятитонный магнит, валявшийся на складе и предназначавшийся ранее для радиопередатчика, который предполагалось установить в одной восточной стране. Однако правительство этой страны не смогло заплатить за радиопередатчик, и гигантский магнит пылился на складе, ненужный и неоплаченный. Лоуренсу удалось приобрести его буквально за гроши.

Отсутствие радиодеталей восполнялось за счет своих старых радиоприемников, «заимствования» бесхозных приемников и радиодеталей, а то и просто путем посещения ближайших свалок.

Механические детали делались самими физиками или, в крайнем случае, заказывались на небольших заводах.

Вакуумная камера первого циклотрона представляла собой смятую лабораторную колбу.

Помогали Лоуренсу в основном студенты. Это, естественно, не было их основным занятием, и поэтому все было направлено на то, чтобы изготовить циклотрон возможно быстрее. Очень часто работы велись ночью и перерыв делался лишь в 4 часа утра, когда уставшие студенты и их руководитель шли перекусить в ближайший ночной ресторан «Белая таверна».

Все в лаборатории делалось только бегом. Лоуренс кипел энергией и оптимизмом — он не замечал мелких неполадок и ошибок и акцентировал внимание на успехах. Казалось, что его высокую и плотную фигуру можно было видеть сразу в нескольких местах. Его звали «маэстро» за виртуозность в эксперименте и абсолютно точные и уверенные советы, которые он давал сотрудникам. В то же время Лоуренс стремился, чтобы каждый работал творчески и разделял радость открытия, которое впоследствии будет приписано только ему одному, великому «маэстро».

В 1932 году первый в мире циклотрон был построен. Он давал пучок протонов с энергией 1,2 Мэв, то есть с лихвой превосходящую ту, при которой атомы могли быть расщеплены. Но было уже поздно...

Кокрофт и Уолтон, ученики Резерфорда, используя принципиально другой метод исследования, имея пучок с энергией всего лишь 0,7 Мэв, уже добились в Кэвендишской лаборатории искусственного расщепления атома...

Это было для Лоуренса жестоким, но полезным уроком. Он решает теперь посвятить свои усилия совершенствованию циклотрона и увеличению энергии частиц, получаемых с его помощью, прекрасно понимая, что с увеличением энергии частиц становятся более ясными вопросы взаимодействия частиц, открывающие путь к познанию законов атома. Открытие сделано, теперь необходимо добиваться систематических и достоверных результатов. Вот что по этому поводу говорил Д. Д. Томсон, который, по выражению П. Л. Капицы, «из всех физиков конца прошлого и начала этого века сделал самые фундаментальные открытия» (он открыл электрон, изотопы) в своей книге «Воспоминания и раздумья»:

«...Обычно не первый шаг в открытии нового физического явления стоит больших денег. Так, открытие Рентгеном X-лучей, или Кюри радия, или продолжительные опыты С. Т. Р. Вильсона над образованием капелек на частицах, заряженных электричеством,— все они стоили ничтожные суммы. Открытия, подобные этим, обязаны тому, что не может быть куплено,— именно остроте и силе наблюдательности, интуиции, непоколебимому энтузиазму до окончательного разрешения всех затруднений и противоречий, сопутствующих пионерской работе. Когда первоначальное открытие сделано, наблюдаемый эффект очень мал и требует целого ряда длительных опытов для получения достоверных результатов. Вот это стремление добиться большого эффекта и стоит дорого. Это может означать затрату многих тысяч фунтов стерлингов для постройки сильных магнитов или же для получения электродвижущих сил во много сотен тысяч вольт, или же для приобретения больших запасов радия. Но все эти деньги хорошо израсходованы, так как они дают нам возможность добиваться новых знаний гораздо быстрее и с большей достоверностью».

Академик П. Л. Капица сделал по этому поводу такое сравнение:

«Когда Колумб отправлялся в экспедицию, результатом которой было открытие Америки, он ехал на простом маленьком фрегате, на лодчонке, с современной точки зрения. Но чтобы освоить Америку как страну, потребовалось построить большие корабли, как «Лузитания», «Титаник», и это полностью себя оправдало».

Если первый циклотрон Лоуренса стоил 1000 долларов, то синхротрон на 6000 Мэв стоил 3 000 000 долларов, а синхротрон Брукхейвенской лаборатории на 30 000 Мэв стоил 34 000 000 долларов. Строящиеся машины гораздо дороже. Если при постройке первого циклотрона у Лоуренса было всего несколько помощников-студентов, то впоследствии в радиационной лаборатории штат возрос до нескольких тысяч.

Сам Лоуренс в свои 38 лет стал одним из признанных великих физиков. Один из его друзей в день получения Лоуренсом Нобелевской премии шуточно телеграфировал ему:

«Дорогой Эрнест, ты подаешь некоторые надежды в смысле карьеры...»

Какие же задачи призваны решать столь большие коллективы на этих громадных магнитах, располагающихся в подземных галереях и перевозимых в нескольких железнодорожных составах?

Нам придется отвечать на этот вопрос, начиная издалека.

Член-корреспондент АН СССР Д. И. Блохинцев считает, что в развитии физики XX века можно выделить три этапа: изучение атома, изучение атомного ядра и, наконец, изучение структуры элементарных частиц. Наряду с продолжением второго и первого этапов сейчас начинаются интенсивные исследования на третьем этапе.

Ускорители имеют в этом смысле двойное назначение: во-первых, при взаимодействии ускоренных частиц с ядрами других элементов возникают новые частицы, некоторые из которых еще неизвестны науке. Во-вторых, ускоренные частицы, согласно представлениям квантовой механики, можно представить как волны определенной длины, причем длина волны тем меньше, чем больше энергия ускоренной частицы. Из физики также известно: с помощью любых волн можно «видеть» лишь те предметы, линейные размеры которых больше длины волны. В противном случае волна «не заметит» препятствия (точно так же, как тоненькая травинка не оказывает сколько-нибудь значительного влияния на распространение волн на воде от брошенного камня). Поэтому для исследования структуры все более мелких объектов микромира необходимо иметь волны с возможно меньшей длиной волны — то есть максимально ускоренные частицы.

Для решения задач, связанных с исследованиями структуры пространства (не обладает ли пространство квантовыми свойствами?) на расстояниях  $10^{-15}$  см и меньше, а также структуры времени (может быть, окажется, что и время течет не непре-

рывно, а некоторыми порциями?) в промежутках, равных  $10^{-25}$  сек. и менее, необходимы ускорители частиц на энергию до 1 000 000 Мэв (почти в миллион раз больше энергии, полученной Лоуренсом в 1932 году!). Ускорители, проекты которых докладывались на Международной конференции по ускорителям высоких энергий в Дубне в 1963 году, будут иметь кольцевые магниты диаметром 3—5 километров!! И по-видимому, Академии наук и правительства пойдут на колоссальные расходы, связанные с постройкой таких ускорителей. А открытия ждать себя не заставят.

Многие надеются понять ученые с помощью новых мощных ускорителей:

Почему природа избрала именно водород элементом, из которого синтезированы все остальные?

Почему протон именно в 1640 раз тяжелее электрона?

Есть ли связь между электромагнитными и гравитационными явлениями, а также между теми и другими, с одной стороны, и ядерными «сильными» и «слабыми» взаимодействиями, с другой?

Существует ли в природе «пятая сила», кроме вышеуказанных? Может быть, проявлением этой пятой силы объясняется несохранение четности в некоторых ядерных реакциях?

Существуют ли в природе монополи — частицы, имеющие только один магнитный полюс и эквивалентные электрическим зарядам?

Наконец, существуют ли «бесы» — кварки, из которых, быть может, состоят все «элементарные» частицы?

Все эти вопросы касаются самых глубин нашего миропонимания.

Профессор Роберт Опенгеймер, в свое время глава американского атомного проекта, не исключает, что в процессе экспериментов на таких грандиозных ускорителях могут быть сделаны просто потрясающие открытия.

Кто сказал, что причина всегда предшествует следствию?

«Неизвестно, будет ли иметь смысл традиционное причинное описание событий, то есть описание, при котором будущее зависит от прошлого непрерывно прослеживаемым образом. В хорошо изученных областях энергии не замечено ничего, что делало бы такие представления о пространстве, времени и причинности неправильными. Высокий уровень энергии запланированных ускорителей поможет разрешить эти вопросы». И энергия ускорителей непрерывно увеличивается. Средний темп — в 10 раз за каждые шесть лет.

Такой фантастический рост энергии частиц стал возможен лишь после того, как в 1944 году в журнале «Доклады Академии наук СССР» появились три статьи, подписанные неизвестным еще мировой науке именем: В. И. Векслер.

Примечательна судьба этого человека. Сирота, бывший беспризорник, коротавший время у асфальтовых чанов близ Хитрова рынка, потом воспитанник коммуны имени Коминтерна и комсомольский вождь, он становится одним из авторитетнейших физиков нашего времени. Его недавняя смерть была тяжелым ударом для мировой физики.

...Упоенные успехами Лоуренс и его помощники сразу же после запуска первых циклотронов заложили новую гигантскую машину — циклотрон-мамонт, циклотрон-гигант, циклотрон-монстр. На постройку его были выделены колоссальные средства. Сотни людей участвовали в строительстве...

И вот циклотрон-коLOSS построен. Мерцающие полированные плоскости его гигантских многометровых магнитов уже готовы к тому, чтобы между ними завращался рой атомных частиц, ускоренных до гигантской по тем временам энергии — 60 миллионов электрон-вольт...

Но что произошло? Почему проектировщики торопливо проходят мимо еще не пущенного гиганта, стараясь не глядеть на него? Почему все разговоры о машине, сожравшей миллионы, встречают холодное молчание?

При уточнении расчетов выяснилось, что вся эта масса металла бесполезна — лоуренсовский циклотрон в силу присущих ему особенностей и в соответствии с неумолимой теорией относительности в принципе не может давать частицы с энергией выше 25—30 Мэв.

Масса любой частицы возрастает при приближении скорости частицы к скорости света. Но частица с большей массой менее подвижна — она начинает отставать от сестриц с меньшей энергией и запаздывает к ускоряющему промежутку, то есть попадает к нему в такой момент, когда ускоряющее электрическое поле малó или направлено навстречу частице и тормозит ее.

Все попытки вырваться из этого порочного круга были тщетны... Ненужный многометровый магнит несостоявшегося рекордного циклотрона пылился в лаборатории уже более четырех лет, когда появились статьи Векслера. В них впервые была дана идея «автофазировки», с помощью которой можно теоретически безгранично повышать энергию частиц, получаемых в ускорителях. Может быть, только физики в состоянии оценить эстетическую сторону этого нового принципа. Частицы сами по себе,

абсолютно естественно, повинаясь неслышному влиянию электрического поля изменяющейся частоты, приходят к ускоряющему промежутку как раз в тот момент, когда это необходимо — ни на мгновение раньше, ни на мгновение позже.

Трудно найти аналогии этому естественному, но очень сложному процессу в природе. Может быть, отдаленно напоминает этот процесс поведение лягушки, которая сама по себе, с покирующей естественностью, прыгает в нужный момент в широко раскрытую пасть удава...

Статьи Векслера были молниеносно переведены на английский язык и зачитаны до дыр. Работы на заброшенном циклотроне возобновились, и уже через несколько месяцев он стал давать частицы с энергией 500 (!) Мэв. Но это был уже не циклотрон, а совершенно новая машина — синхроциклотрон.

Однако перед тем как перейти к этой новой машине, обратимся к некоторым физическим явлениям, лежащим в основе процесса ускорения заряженных частиц.

Лоуренс первым использовал для возвращения частиц к одним и тем же ускоряющим промежуткам магнитное поле — известно, что любая заряженная частица, двигаясь в магнитном поле, будет двигаться по окружности. В двух точках такой окружности Лоуренс расположил ускоряющие промежутки. Вот для этого Лоуренсу и понадобился старый магнит, валявшийся на складе Калифорнийского университета!

С ростом энергии частиц, получаемых в ускорителях, растет и радиус орбит, по которым вращаются частицы, а вместе с ним и диаметр магнитов. Поэтому-то самые большие магниты в мире — это магниты ускорителей.

Заряженная частица подвержена в циклотроне влиянию двух сил — центробежной, которая стремится выбросить частицу из циклотрона, и центростремительной лоренцовой силы, которая заставляет частицу двигаться по окружности.

Ясно, что магнитное поле в циклотроне должно быть однородным, то есть иметь одинаковую величину и направление во всех точках орбиты. Если в какой-либо точке орбиты поле, скажем, резко падает до нуля, частица в этой точке, не сдерживаемая лоренцовой центростремительной силой, выскочит из циклотрона.

Исходя из этого, напряженность поля по орбите циклотрона устанавливается строго постоянной.

Равенство центробежной и центростремительной сил на равновесной орбите обеспечивает так называемую «горизонтальную устойчивость» частицы. Что это значит?



Предположим, что частица под влиянием каких-либо факторов перешла с равновесной орбиты на орбиту большего радиуса. В этом случае лоренцова центростремительная сила будет больше центробежной, и в результате частица будет смещаться в сторону орбиты меньшего радиуса до тех пор, пока не достигнет равновесной орбиты.

При уменьшении радиуса орбиты частицы будет наблюдаться обратная картина.

А что будет, если частица будет переходить на более низкую или более высокую орбиту? Это может привести к тому, что частицы «потеряются» в полюсах магнита.

Для того чтобы этого не происходило, или, как говорят, для обеспечения «вертикальной устойчивости» движения частицы, полюса магнитов скашивают так, чтобы зазор к краю полюса становился больше. При этом магнитное поле на равновесной окружности становится меньше, чем в точках ниже и выше ее.

Частица, залетевшая, скажем, слишком высоко, попадает в область с более сильным полем, которое выталкивает ее вниз, к равновесной орбите.

На полюсах циклотрона закрепляются главные катушки, создающие сильное магнитное поле. Главные катушки обычно изготавливаются из толстой (сечением 50—100 мм<sup>2</sup>) алюминиевой шины с отверстием внутри. По этому отверстию пропускают охлаждающую воду.

Кроме основной, в циклотронах имеется дополнительная обмотка, расположенная около зазора. Она обычно состоит из двух катушек, размещенных вблизи среза полюса. Эти катушки служат для «нацеливания» частиц на мишень, иными словами, для регулирования высоты плоскости, по которой движутся частицы в циклотроне.

Эта плоскость вопреки ожиданиям обычно не находится посередине между полюсами из-за, казалось бы, случайных факторов. Сейф или стальная дверь, баллон с газом, оказавшиеся поблизости, могут вызвать смещение средней плоскости.

Какой самый крупный в мире циклотронный электромагнит?

Это — электромагнит синхроциклотрона на 680 Мэв в Объединенном институте ядерных исследований в Дубне. Диаметр полюсов этого магнита — 6 метров. Вес магнита — 7000 тонн. Несколько уступает ему в размерах синхроциклотрон в Беркли.

Из приведенных цифр можно видеть, что магниты циклотронов и, следовательно, сами циклотроны — это громадные и дорогие сооружения. Они обычно размещаются в специальных корпусах, огороженных бетонными стенами толщиной порядка

трех метров, которые служат мерой безопасности от радиации. Поворотные двери также делаются из бетона.

Циклотроны применяются в основном для научных исследований. Однако, особенно в последнее время, они широко используются и для получения радиоактивных изотопов для промышленности и сельского хозяйства. Сейчас в мире есть несколько циклотронов, на которых не проводится никаких научных исследований. Эти атомные машины играют роль своеобразного технологического оборудования фабрики. На этой «фабрике» производятся изотопы.

...Не так давно мне пришлось побывать в местечке Улугбек, что под Ташкентом. Несколько лет назад здесь была лишь выжженная солнцем желтая степь и бесцветное раскаленное небо. Сейчас в Улугбеке — Институт ядерной физики Академии наук Узбекистана. Здесь стоит циклотрон, с помощью которого производится облучение образцов руд и подземных вод со всех концов Советского Союза.

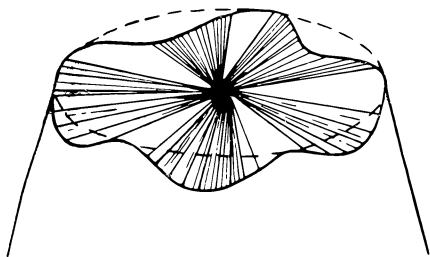
Под мощными ударами ядерной молотилки каждый атом образца начинает «возбуждаться» и давать о себе знать. И как в грохоте оркестра чуткое ухо маэстро слышит нежное пение скрипки, так и из беспорядочного потока атомных излучений специальные приборы легко выделяют «голос» нужного атома. Так были открыты новые месторождения золота, ценных металлов, источники воды, несущие жизнь в засухливые степи.

Чем сильнее излучение циклотрона, тем более слабые «голоса» атомов могут услышать приборы, тем скорее на службу человеку будут поставлены новые сокровища природы.

Расчеты дают в качестве верхнего предела энергии протонов, получаемых в обычном циклотроне, величину 25—30 Мэв. Чем больше напряженность магнитного поля, тем больше оборотов делает заряженная частица в единицу времени. Возникает вопрос: нельзя ли сделать так, чтобы от центра к краю полюсов магнитное поле увеличивалось? Тогда приращение массы и, следовательно, «неповоротливость» частицы с ростом ее энергии могли бы быть скомпенсированы, и энергия частиц, получаемых в циклотроне, могла бы быть увеличена.

Но мы уже знаем, что в циклотронах делается как раз наоборот — магнитное поле к краю полюса снижается, этим достигается вертикальная фокусировка. Как примирить эти противоположные требования? Как одновременно иметь и вертикальную фокусировку и возрастание поля от центра полюса к периферии?

Этой задачей интересовались давно, и еще в 1938 году аме-



Полус циклотрона по предложению  
Томаса.

риканским ученым Томасом была предложена формула, по которой должно изменяться магнитное поле в зазоре «изохронного» циклотрона с тем, чтобы эти условия обеспечивались одновременно. Однако форма полюса при этом получалась чересчур сложной. В связи с этим, а также в связи с открытием Векслером (1944 г.)

и Макмилланом (1945 г.) принципа автофазировки, позволяющего другим способом достичь увеличения максимальной энергии, изохронный циклотрон имел в то время не много приверженцев. Однако в последние годы положение меняется. Физики и инженеры, занятые проектированием ускорителей, предложили очень простой выход из положения: вместо сложных полюсов, предложенных Томасом, использовать нормальные цилиндрические полюса, покрытые стальными накладками простой формы. Как выяснилось, такие накладки обеспечивают одновременное нарастание поля по радиусу и вертикальную фокусировку.

Для коррекции поля в зазоре изохронного циклотрона применяют сложную систему концентрических и секторных корректирующих обмоток и накладок.

Изохронные циклотроны позволяют повысить энергию частиц, получаемых на ускорителях этого типа, до 700—800 Мэв. Дальнейшее увеличение энергии затруднительно вследствие того, что по технологическим причинам трудно точно выдержать все требования к конфигурации магнитного поля циклотронов столь высоких энергий.

Магнитные системы циклотронного типа используются, как мы уже говорили, и в другом типе ускорителей, называемых синхроциклотронами. Синхроциклотрон, или фазотрон, как его называют некоторые физики, отличается от обычного циклотрона тем, что частота ускоряющего напряжения по мере возрастания энергии частиц уменьшается, что позволяет «отяжелевшим» частицам вовремя проходить ускоряющий промежуток. Такое изменение частоты эквивалентно изменению поля в изохронном циклотроне. Предел энергии частиц, получаемых в синхроциклотронах, также составляет 700—800 Мэв.

Магниты циклотронного типа устанавливаются также на

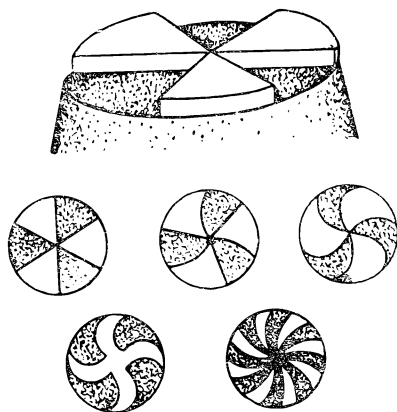
микротронах, служащих для резонансного ускорения электронов в электрическом поле микроволновой частоты. Однако магниты микротронов гораздо легче циклотронных, так как в первых используется небольшая индукция магнитного поля — в 10 раз меньше, чем в циклотронах.

Мы уже говорили о том, что в силу различных физических и технических причин невозможно создать «обычные» циклотроны на энергии выше 25—30 Мэв, а «изохронные» циклотроны и синхроциклотроны — на энергию выше 800 Мэв. Но мы не упомянули еще об одном ограничении, иногда определяющем. Это ограничение — экономика.

Подсчитаем, например, сколько бы весил циклический ускоритель на энергию 10 000 Мэв или 10 Гэв. Если магнитное поле на конечной орбите составит 14 500 эрстед, то ее радиус должен быть около 25 метров, а вес магнита полтора миллиона тонн. Самая постановка вопроса о построении такого магнита была бы беспредметной.

Почему это происходит? Почему циклотрон на большую энергию весит так много? Попробуем разобраться в причинах. Первая причина, очевидно, состоит в том, что мы выбрали невысокое значение напряженности магнитного поля. Если бы нам удалось эту напряженность в несколько раз повысить, во столько же раз можно было бы снизить радиус и во столько же в степени два с половиной раз снизить вес магнита. Однако серьезно повысить магнитное поле в циклотронах нельзя, поскольку сталь будет при этом сильно магнитно насыщаться.

Другая причина, вызывающая необходимость иметь магнит столь большого веса, объясняется самим принципом работы циклотрона. Поскольку его магнитное поле постоянно во времени, частица, приобретающая в ускоряющем промежутке очередную порцию энергии, начинает двигаться по орбите большого радиуса, чем раньше, и траектория ее движения напоминает спираль. Именно эта спиралевидность орбит вынуждает к тому, чтобы иметь в циклотроне полный набор орбит различных радиусов от



Полюсные накладки и компенсирующие обмотки изохронного циклотрона.

нуля до радиуса конечной орбиты. Другими словами, полюс циклотрона должен быть цилиндрическим; то есть массивным и тяжелым.

Однако, видимо, нет никакой роковой необходимости иметь в ускорителе полный набор орбит различных радиусов. Если бы величина магнитного поля в ускорителе с ростом энергии частиц менялась, то радиус орбиты мог бы оставаться всегда постоянным. Для этого нужно лишь обеспечить закон изменения магнитного поля магнита во времени, приближающийся к закону изменения во времени энергии частицы.

В этом случае стало бы возможным вместо цилиндрических полюсов оставить узкое кольцо по краю полюса, а сердцевину полюса не делать вообще. Только такие ускорители сейчас позволяют при относительно небольшой (по сравнению с гипотетическим циклотроном на ту же энергию) цене получать пучки частиц с колоссальными энергиями. Такие ускорители называются кольцевыми. Создание кольцевых ускорителей было главным достижением ускорительной техники после Лоуренса и Векслера. Природа давно оценила преимущества трубчатых конструкций. Распилите кость — она внутри полая. Если бы она была массивной, она была бы тяжелее, но не прочнее. И природа выбрала инженерно правильное и, следовательно, эстетически безупречное решение.

Башня Останкинского телецентра — полая внутри. Это позволяет, не снижая ее прочности, в сотни раз снизить вес конструкции, сделать ее легкой, ажурной и прекрасной.

Кольцевой ускоритель — это ускоритель Лоуренса и Векслера, у которого вынута сердцевина полюса магнита и оставлено лишь узкое кольцо на краю. Вес магнита снижается при этом в сотни раз, а ускоритель приобретает новые прекрасные архитектурные формы. Красота этого решения — в глубочайшей технологической целесообразности, в подражании природе.

Кольцевые ускорители включают синхротроны и синхрофазотроны — самые крупные и дорогостоящие физические приборы, когда-либо находившиеся в распоряжении человечества. Диаметр кольцевых магнитов таких ускорителей составляет десятки метров, магнитная система кольцевых ускорителей обычно состоит из нескольких отдельных секторных магнитов, составляющих в плане кольцо. Между этими секциями устраиваются ускоряющие промежутки. Стоимость магнитов синхротронов и синхрофазотронов (между этими двумя типами ускорителей различие невелико) составляет около половины стоимости всего синхротрона. Это и естественно, если учесть, что диаметр коль-

цевого магнита ускорителей измеряется десятками, а то и сотнями метров.

Например, дубненский синхротрон на энергию 10 000 Мэв имеет радиус орбиты 28 метров, женевский синхротрон на 27 000 Мэв — 100 метров, брукхэйвенский синхротрон на 33 000 Мэв — 128,5 метра, а серпуховский синхротрон на 70 000 Мэв — уже 236 метров!

Как видно из этих данных, самый крупный синхротрон мира, имеющий самый грандиозный в мире электромагнит кольцевого типа, вступил в строй в городе Серпухове, под Москвой. На фотографии в конце книги показан рабочий момент строительства галереи этой гигантской машины — самого большого магнита в мире.

Создание таких крупнейших машин было бы невозможно без решения одной из наиболее сложных проблем — проблем фокусировки.

Как осуществляется вертикальная фокусировка в синхротронах? (О горизонтальной мы уже сказали раньше.) Принцип тот же, что и в циклотронах, — магниты изготавливаются так, чтобы магнитное поле на внешнем радиусе было меньше, чем на внутреннем. Тогда каждая частица, вышедшая из серединной плоскости, будет испытывать со стороны «бочкообразного» поля силы, заставляющие ее вернуться обратно.

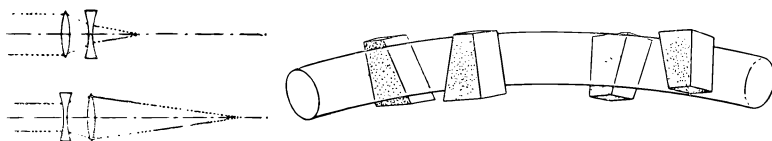
Такой принцип фокусировки называют мягкой фокусировкой. Предельной энергией, которую можно получить на синхротронах с мягкой фокусировкой, является энергия, равная примерно 15 000 Мэв. По-видимому, дубненская машина была и остается крупнейшей в мире установкой подобного типа (энергия частиц 10 000 Мэв, вес магнита — 36 000 тонн).

Почему же с мягкой фокусировкой нельзя достичь больших значений энергии частиц? Дело в том, что при увеличении энергии частиц должен, естественно, расти и радиус ускорителя.

Но чем больше радиус, тем больше амплитуда колебаний частицы вокруг своей равновесной орбиты. Сбить частицу с орбиты могут случайные молекулы газа в вакуумной трубке, флуктуации ускоряющего напряжения и частоты. В связи с этим рабочую зону («апертуру пучка») приходится увеличивать с тем, чтобы частица не потерялась в металле магнита во время своего пути, составляющего в ускорителе примерно полмиллиона километров. Это обходится очень дорого. Так, ускоритель на 30 000 Мэв с такой мягкой фокусировкой весил бы 100 000 тонн. Для того чтобы свести к минимуму всякие колебания частицы вокруг равновесной орбиты и снизить сечение пучка, нужно ввести

более жесткую фокусировку, то есть заставить частицы как можно меньше отходить от своей равновесной орбиты.

Как это сделать, никто до 1951 года не знал. Решение проблемы было выдвинуто брукхэйвенской группой физиков в составе Э. Куранта, М. Ливингстона и Г. Спейдера. Ливингстон предложил как-то, скорее для упражнения на электронно-вычислительной машине, рассчитать, как будет вести себя частица, ускоряемая в системе из нескольких магнитов, если в каждом следующем магните направление, в котором поле снижается, будет



Фокусирующее действие ускорителей с жесткой фокусировкой можно сравнить с действием системы из вогнутой и выпуклой линз, которая в целом собирает лучи в одну точку.

другим. Расчет на машине показал, что частица в этом случае будет двигаться по стабильной круговой орбите и, кроме того, будет подвержена сильным фокусирующим усилиям. В том секторе, где полюса наклонены внутрь, будет осуществляться сильная вертикальная фокусировка и горизонтальная дефокусировка; в следующем секторе, где полюса наклонены наружу, фокусировка будет обратной. К удивлению брукхэйвенской группы, эффект в целом заключался в том, что при определенном расположении секторов пучок будет сильно фокусироваться и отклонение частиц от равновесной орбиты будет очень небольшим. Действие магнитов равнозначно в этом смысле действию двух линз — вогнутой и выпуклой, которые, будучи поставлены рядом, дают в целом эффект сближения лучей.

Эта идея оказалась очень плодотворной — на ее основе построены брукхэйвенский и женеvский ускорители, создан серпуховский ускоритель. На брукхэйвенском ускорителе уже был получен очень ценный результат. Впервые человеку удалось наблюдать антидейтерон — атом антиматерии, а не элементарную античастицу.

Создание ускорителей с жесткой фокусировкой, как уже говорилось, позволит увеличить энергию получаемых частиц при снижении веса магнитной системы. Однако и в этом случае постройка синхротрона, скажем, на 300 000 Мэв будет под силу лишь наиболее экономически мощным государствам. Вопрос о строительстве такой машины будет решаться в государственном

масштабе, как, скажем, вопрос о строительстве нового города. Да, впрочем, сравнение с городом здесь имеет и более прочные корни — ведь вокруг каждой такой машины неминуемо вырастет научный центр и научный городок.

Еще более серьезные будут затраты на более мощные ускорители. Например, ускоритель на 1000 Гэв будет стоить порядка миллиарда рублей, диаметр его секционированного кольцевого магнита будет около семи километров, а на строительстве его будут заняты тысячи человек и сотни организаций. Нужно сказать, что вес магнита при введении жесткой фокусировки будет для такой энергии частиц весьма умеренным — «всего» 30 000 тонн; защищаться от радиации такого ускорителя придется за бетонными стенами двенадцатиметровой толщины.

Строительство такого ускорителя представит определенное напряжение даже для таких стран, как СССР и США. Это напряжение будет не только финансовым, но и «умственным» — с новым ускорителем так или иначе будет связано около 2000 кандидатов и докторов наук — целая армия ученых. Поэтому в европейской печати довольно часто начинает проскальзывать мнение, что ускорители на такие большие энергии следует строить «всем миром», то есть в буквальном смысле силами всех развитых стран, включая европейские страны, США и СССР.

Для создания жесткой фокусировки в этих ускорителях секции магнитов с разным направлением спада поля будут поставлены друг за другом; если в первом магните, в котором поле спадает по направлению к внешнему радиусу, происходит вертикальная фокусировка, то в следующем магните, где поле спадает к центру, уменьшается сечение пучка в горизонтальном направлении. В результате сечения пучка и, следовательно, размеры рабочей зоны магнита становятся меньше, что позволяет увеличить энергию частиц без существенного утяжеления магнита.

Вкратце упомянем о том, что принцип жесткой фокусировки стал широко применяться не только в ускорителях. Например, для «подачи» пучка к столу экспериментатора широко используются так называемые квадрупольные линзы, работающие на этом принципе.

На конференции по ускорителям высоких энергий в Дубне в 1963 году американские и европейские ученые представили проекты ускорителей с жесткой фокусировкой на 150 и 300 Гэв, а советские ученые — на 500 и 1000 Гэв. Однако возрастание энергии до столь высоких значений приводит к новым трудностям, касающимся фокусировки. Ведь диаметр ускорителя на



1000 Гэв — около семи километров, а для того чтобы частица не уклонялась от равновесий орбиты и не терялась бы в полюсах магнита, необходимо устанавливать магнит с точностью до десятой доли миллиметра. Все магнитные системы этих гигантских ускорителей действуют по кибернетическому принципу. Любая ошибка в направлении пучка тотчас же замечается приборами, и в ускоряющую систему подается команда об изменении ее параметров, которая должна привести пучок — «нарушитель» на свою орбиту.

Неизвестно, как в конце концов решится эта проблема — будут ли отдельные государства строить такие ускорители, будут ли они строиться группами государств или наконец «всем миром». А может быть, будет найдено какое-нибудь более изящное решение, которое позволит достичь новых колоссальных энергий путем менее весомых затрат?

Идея обойтись без магнитов принадлежит Энрико Ферми. Ферми, конечно, имел в виду обойтись именно без магнитов, а не без магнитного поля — иначе ускоритель получился бы колоссальной длины. В качестве магнитного поля Ферми предложил использовать магнитное поле Земли. Ускоритель типа синхротрона должен был бы представлять собой вакуумную трубу, опоясывающую земной шар вдоль магнитного экватора. Хотя осуществление такого проекта могло бы дать пучки чрезвычайно энергичных частиц, стоимость ускорителя, по-видимому, оказалась бы громадной — ведь орбита частиц должна быть круговой, а Земля — совсем не идеальный шар; для того чтобы обеспечить идеальную окружность, пришлось бы прорывать тоннели, строить виадуки над океанами и т. д. А чего стоит проблема обеспечения герметичности и высокого вакуума устройства, опоясывающего земной шар!

Какую самую большую энергию можно получить с помощью ускорителей? Естественно, что самый большой возможный на земле ускоритель должен располагаться по экватору Земли. Величина поля в этом громадном магните будет определяться насыщением стали и будет равна, скажем, 20 000 эрстед. При этих условиях максимальной энергией ускоряемых протонов будет величина 150 000 000 Мэв.

Космической эре свойственны и космические проекты. Таким является проект «лунатрона». Ускоритель можно разместить на нескольких спутниках, вращающихся вокруг Земли. На спутниках можно установить фокусирующие магниты, ускоряющие пластины, инжекторы. С помощью такой системы можно было

бы достигнуть 100 000 000 Мэв. Серьезным преимуществом такой системы является отсутствие необходимости вакуумировать рабочее пространство — ведь «лунатрон» размещен вне атмосферы!

Чрезвычайно интересная идея ускорителя принадлежит советскому физику Г. И. Будкеру, который предложил слабым, наводящим полем создавать мощный пучок электронов. Этот пучок является по сути дела гибким шнуром, по которому течет очень сильный электрический ток. Электрический ток всегда создает магнитное поле, стремящееся уменьшить сечение пучка, и диаметр пучка резко снижается («пинч-эффект»). Однако чем меньше диаметр пучка, тем больше при том же токе магнитное поле, создаваемое током на его поверхности. Таким образом можно достигнуть очень сильных полей. Идея Будкера заключается в том, чтобы использовать это очень сильное магнитное поле как рабочее поле ускорителя. В пучке электронов диаметром 6 метров можно удерживать протоны с энергией вплоть до 100 000 Мэв.

Большие надежды связывают физики и со сверхпроводимостью. Ограничением магнитного поля ускорителей является предел насыщения электротехнической стали — около 20 000 гаусс. Однако если сталь из ускорителя убрать, возникнет много других проблем. Одной из них будет то, что магнитное сопротивление магнитному потоку ускорителя увеличится; для того чтобы сохранить поток прежним, нужно сильно увеличить мощность питания обмоток, которая и при ускорителе со сталью была громадной. Мощность питания американского синхрофазотрона «Беватрон» составляла 100 000 киловатт, то есть мощность, потребляемая городом со стотысячным населением. При рассмотрении проекта ускорителя газовая и электрическая компания Тихоокеанского побережья специально занималась вопросом о том, не будут ли «садиться» все лампы в городах Беркли и Окленде в то время, когда в ускорителе разгоняется очередной пучок протонов?

А ведь «Беватрон» — относительно небольшой ускоритель и вдобавок со сталью. В ускорителях на 300 000—1 000 000 Мэв без стали потребление электроэнергии будет гораздо больше. Соответственно будет более дорогим и громоздким сам ускоритель. А если разобраться, куда идет эта колоссальная энергия, то окажется, что тратится она в большей мере попусту. Ведь для поддержания магнитного поля не требуется энергии — постоянный магнит не получает энергии ниоткуда, а его магнитное поле не расходуется, когда им что-либо притягиваешь. Энергия необходима лишь на установление поля — если в этой области

пространства магнитного поля раньше не было, а теперь оно есть, — это значит, что затрачена некоторая энергия. Если подсчитать, какая часть энергии в ускорителях используется полезно, то окажется, что она ничтожна. Остальная часть электроэнергии идет на нагревание обмоток, вызванное тем, что медные и алюминиевые обмотки ускорителей обладают электрическим сопротивлением. Без сопротивления не было бы и потерь.

Именно с этим обстоятельством и связаны усилия использовать в качестве материала обмоток магнитов ускорителей сверхпроводник. Другой положительной стороной сверхпроводящих обмоток явилась бы возможность сильного увеличения магнитного поля, а следовательно, и уменьшения радиуса ускорителя. Если удастся достигнуть магнитного поля в 100 000 эрстед, то размеры ускорителя уменьшатся в 5 раз.

\* \* \*

— Мне жаль ученых. Они так бездушны, — говорит героиня известного романа Синклера Льюиса.

Может быть, абстрактность понятий, которыми оперируют ученые, действительно уводит их в сторону от романтики обыденной жизни. Но эти «бездушные» ученые часто обладают талантом видеть красоту не только там, где ее видят все другие люди, но и в логической замкнутости и строгости абстрактных понятий. Поэтому зачастую они оказываются духовно богаче самых романтических натур. Среди этих ученых следует выделить Роберта Уилсона, помощника Лоуренса и участника создания первых циклотронов. Роберт Уилсон увидел логику и гармонию в, казалось бы, хаотическом и случайном развитии ускорительной техники, смог найти в современных ускорителях сходство с великими течениями прошлого.

Вот что пишет Уилсон об ускорителях в научной статье: «Каждый вид ускорителей имеет собственный архитектурный стиль. Синхроциклотроны для меня — это барокко. Протонные синхротроны выполнены, без сомнения, в романском стиле, хотя их изогнутые арки расположены горизонтально. Электронные синхротроны обладают той легкостью и грацией, которая могла быть только в готике». Изохронный циклотрон, предложенный Томасом, Уилсон за вычурную форму полюсных наконечников магнита и магнитного поля причисляет к искусству рококо. Раздумывая над этими словами, можно прийти к выводу об их удивительной точности. Действительно, строительство ускорителей и их магнитов превратилось сейчас в род особого изысканного искусства.

В истории человечества часты периоды необыкновенной творческой активности. Египетские пирамиды, скульптура Древней Греции, живопись Флоренции, готические соборы Франции, поднявшиеся как по волшебству в XII—XIII веках, гигантские телескопы начала нашего столетия можно считать примерами таких творческих подъемов. В современном мире этот творческий подъем и необычайный расцвет царят сейчас в искусстве делать ускорители атомных частиц. Конструктор ускорителей одержим сейчас тем же самым творческим духом, который владел строителем готических соборов. Эстетическая красота обоих творений по сути дела в глубочайшей технологической сообразности, в совершенстве выражения противоборства двух начал. Контрфорсы соборов явно технологичны. Мы почти физически ощущаем ту нагрузку, которую они несут. Точно так же и в ускорителях можно отчетливо представить себе противоположные усилия, действующие на частицу, движущуюся в магнитном поле.

В обоих случаях имеем дело с людьми, работавшими и работающими на самом передовом крае человеческого знания и активно использующими самый современный опыт.

В обоих случаях существовало и существует соперничество между строителями, городами и странами, вынуждающее создавать только совершенное.

Наконец, в обоих случаях требовался и требуется глубочайший синтез науки, техники и искусства, ибо строители соборов были не просто архитекторами, как и строители ускорителей не являются, строго говоря, физиками.

Главная же черта, роднящая тех и других,— волшебное чувство восторга и возбуждения, охватывающее их при работе, ответственный перед лицом веков, и радость при созерцании достижений, призванных служить людям не только по своему утилитарному назначению, но и эстетически.

Разница в одном — соборы строились напоказ, и все о них знали, а ускорители — орудие немногих ученых, и о «смотре ускорителей» знают немногие.

Люди, создающие ускорители, окружены заботой и вниманием, на них смотрит с завистью и восхищением весь мир, они находятся на самом переднем крае человеческого знания и мастерства, перед ними — неизведанные глубины вечности, космоса, материи, человеческой души...

Счастливы те известные и неизвестные избранники, которые создают современные ускорители — пирамиды ядерного века...



## СЕРЕБРЯНОЙ РЕКОЮ ОПОЯСАН...

Эта глава о сверхмощных соленоидах начинается с «проклятой» формулы, выведенной в 1898 году, и идеи, заимствованной у конструкторов атомных реакторов. Затем речь заходит о магните — грейпфруте и магните из жидкого серебра, а после этого автор делает попытку спуститься вместе с читателем вниз по шкале температур, что, как полагают ученые, позволит резко увеличить эффективность сверхмощных магнитов.

В истории магнита почетное место принадлежит американскому физiku Френсису Биттеру. Он родился в городе Виховкин штата Нью-Джерси в 1902 году. Двадцати восьми лет он стал доктором философии за свои исследования магнитных свойств газов. Затем он поступает на службу в электроконцерн «Вестингауз», где изучает теоретические и технические проблемы магнетизма. Позже перешел на преподавательскую деятельность в Массачусетский технологический институт, где им были построены прославившиеся впоследствии «биттеровские соленоиды».

Биттер — человек, вся жизнь которого посвящена магнетизму и магнитам. Даже во время войны он не захотел бросать любимого дела и занимался... магнитными минами и защитой от них. Этими же вопросами занимался в то же время в осажденном Севастополе Игорь Васильевич Курчатов.

Биттеру удалось построить самые мощные в свое время электромагниты. Началось дело, как это всегда бывает, с проблемы.

В тридцатых годах Биттеру для исследования тонких магнитных явлений в газах потребовалось сильное магнитное поле — примерно в сто тысяч эрстед. Необходимо было в короткий срок создать магнит, который мог бы в течение длительного времени — несколько часов — обеспечивать исследователю это грандиозное поле, в двести тысяч раз превышающее магнитное поле Земли.

Перед тем как приняться за решение задачи, Биттер решил изучить все, что было до него сделано в области сильных магнитных полей.

В это время уже работали очень мощные электромагниты в Белле-Ви, под Парижем (поле до 60 тысяч эрстед) и в Уппсальском университете в Швеции — с полем до 70 тысяч

эрстед. Это были громадные сооружения со стальным магнитопроводом и ярмом, классические магниты весом в десятки тонн. В то же время Биттеру было прекрасно известно, что повышение поля до 60—70 тысяч эрстед стоило физикам очень дорого; по сравнению с компактными стандартными магнитами, дающими 30—40 тысяч эрстед, весящими что-нибудь около тонны, упсальский и парижский магниты были похожи на вымерших чудовищ. Такой была за счет насыщения стали цена увеличения поля всего в два раза. Нечего было и думать о том, чтобы получить сто тысяч эрстед с помощью электромагнита со стальным сердечником, хотя теоретически можно легко показать, что, несмотря на «насыщение», в магнитных системах со сталью можно получить какое угодно большое поле. Бесконечное поле будет в том случае, когда вся Вселенная, за исключением точки, в которой создается магнитное поле, будет заполнена полностью намагниченным железом...

Биттер прекрасно понимал, что для достижения ста тысяч эрстед ему придется заполнить насыщенным железом если не Вселенную, то уж во всяком случае всю свою лабораторию. Вариант с железным сердечником не подходил.

Другой путь был известен со времени открытия французскими учеными Араго и Ампером электромагнита без стального сердечника, позже названного соленоидом и представляющего собой спираль, обтекаемую электрическим током. Неприятности, которые подстерегали на этом пути, были сформулированы французским электротехником Фабри и выражались «формулой Фабри», опубликованной в журнале «Электрическое освещение» за 1898 год. (Как-то один мой приятель — высококвалифицированный расчетчик магнитов — представил заместителю директора по хозяйственной части на подпись список статей, которые ему нужно было переснять для работы из различных журналов. Заместитель вычеркнул из списка упомянутую статью Фабри и сказал укоризненно: «Занимаетесь, молодой человек, ультрасовременными вещами, а переснимаете какое-то старье. С тех пор уже все переменялось»).

О чем говорят формула Фабри? Об очень грустных вещах: если вы хотите увеличить магнитное поле, например, в десять раз — извольте увеличить электрическую мощность, расходующую в соленоиде, в десять в квадрате раз, то есть в сто раз. Для достижения сильных магнитных полей потребуются целые электростанции. Академику П. Л. Капице, уже в 1923—1927 годах получившему поле в 500 000 эрстед, не пришлось преодолевать эту трудность — он создавал поле, продолжающееся во

времени лишь одну тысячную долю секунды. Но этот выход для Биттера также не подходил — ему нужны были длительные поля. Выход был ясен — нужно строить соленоид.

Тогда Биттер отправился на Бостонскую электростанцию. Ему удалось договориться с начальством Эдисоновской электрической компании о том, что в те часы, когда город будет мирно спать, и, следовательно, в городе будет некоторая свободная электрическая мощность, Биттер будет питать этой мощностью свой прожорливый магнит. Магнит размером с автомобильное колесо был установлен в одном из помещений электростанции. Когда его включили впервые в 1937 году, в зале случилось что-то невообразимое — мелкая железная пыль, опилки, гвозди, болтики устремились со всех концов помещения к небольшому бронзовому кожуху, к которому подходили две мощные водопроводные трубы. По этим трубам подавалась охлаждающая вода из теплообменника, который омывался водой реки, протекавшей поблизости. Роль этих труб очень серьезна. Если бы к магниту не подавалась охлаждающая вода со скоростью пятьдесят литров в секунду, магнит мгновенно бы испарился.

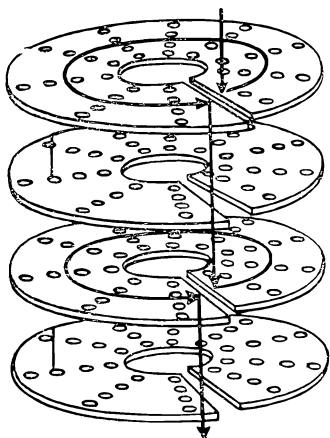
Действительно, в магните тратилась мощность, примерно равная 1700 киловатт, или 1,7 мегаватта. Вся эта мощность выделяется в виде тепла, которое необходимо тут же отводить во избежание повышения температуры магнита.

Конструкция Биттера оказалась столь удачной, что до сих пор соленоиды, построенные по сходному принципу, называют биттеровскими. Оригинальный биттеровский соленоид, с помощью которого было получено впервые в течение длительного времени магнитное поле напряженностью 100 тысяч эрстед, представлял собой штампованные медные диски с шестьюстами отверстиями для охлаждающей воды, имевшие радиальную прорезь. Прорезь служила для того, чтобы, немного изогнув диск, можно было присоединить его к следующему диску с тем, чтобы образовалась непрерывная спираль с током.

Первый биттеровский соленоид с полем 100 тысяч эрстед, будучи сильнейшим в мире, непрерывно работал «на науку», вплоть до того времени, когда для исследований понадобились еще более сильные поля и в еще большем объеме. Единственным перерывом в этой деятельности было то время, когда для осуществления манхэттенского проекта с помощью магнита Биттера в Окридже разделяли изотопы урана.

Бурное развитие многих отраслей физики в 1960-х годах, особенно таких, как магнитное удержание плазмы, исследования сверхпроводимости, антиферромагнетизма, квантовой оптики,





Первый биттеровский соленоид. Стрелками указано направление тока. Медные диски изолированы друг от друга слюдяными прокладками.

элементарных частиц привели к тому, что сверхсильные магнитные поля стали остро необходимы, и для их получения был организован ряд лабораторий и институтов в Советском Союзе, США и Англии. Нужно сказать, что благодаря усиленному интересу к этой области ни одно из природных явлений, исключая магнитное поле, ученые до сих пор не смогли воспроизвести в лаборатории с такой мощностью, как это делает природа. Давления, температуры, энергия элементарных частиц, полученные человеком, ниже тех, которые созданы природой.

Достигнутое в 1965 году магнитное поле в 250 тысяч эрстед в полмиллиона раз больше земного, в сто раз больше поля солнечных пятен и лишь в четыре раза усту-

пает магнитному полю, которое, по расчетам, должно существовать в атомном ядре.

Поле в 250 000 эрстед было достигнуто в национальной магнитной лаборатории в Соединенных Штатах с помощью тройного соленоида, созданного Кольмом по расчету Монтгомери. Магнит с внутренним диаметром 10 сантиметров состоит из трех коаксиальных соленоидов. Полная потребляемая им мощность составляет 16 000 киловатт. Самая внешняя секция намотана полый медной шиной квадратного сечения. Внутренние секции выполнены из медных дисков, на поверхности которых химическим способом вытравлены радиальные каналы для охлаждения.

В магните использовано более трех тонн меди, а давление магнитного поля на внутренние секции так велико, что медь при этом начинает «течь». Это давление более чем в три раза превышает то, которое существует на дне глубочайшей океанской впадины.

Интересна система охлаждения этого магнита. В ней использованы достижения в технике строительства атомных реакторов. В соленоиде, рассчитанном Монтгомери, использован принцип «пленочного» кипения. Температура охлаждаемой медной спи-

рали при этом была выше  $100^{\circ}\text{C}$ , что вызывало возникновение на ней многочисленных пузырьков пара, которые в течение тысячных долей секунды рассасываются в громадной массе сравнительно холодной воды, водопадом обрушивающейся на соленоид. Так как удельная теплота парообразования воды очень велика, то при образовании на поверхности спирали пузырьков от спирали отнимается гораздо более значительная энергия, чем та, которая отнималась бы просто за счет нагревания охлаждающей воды. Этот принцип «локального», или «пленочного» кипения был впервые использован в небольшом магните Кольма, дававшем поле 126 000 эрстед. По сравнению с соленоидом Биттера на 100 000 эрстед этот магнит был просто крошкой — по объему в 25 раз меньше и величиной с грейпфрут.

На сходном принципе охлаждения основана работа еще одного грандиозного магнита. Он построен в Физическом институте Академии наук СССР под руководством академика А. Прохорова научными сотрудниками Л. Максимовым и В. Веселаго. Соленоид, напоминающий из-за множества планов-щупалец чудовищного осьминога, рассчитан на получение магнитных полей величиной в 200 000 эрстед. Для того чтобы снабжать это «чудовище» электроэнергией, в институте построена специальная электростанция.

Колоссальное поле, полученное Кольмом в его магните на 250 000 эрстед, занимает сравнительно небольшой объем, хотя размер магнита — более метра в поперечнике. В рабочую зону диаметром в десять сантиметров можно разве что засунуть кулак, да и то не всякий. Проводить какие-либо крупномасштабные исследования на этом соленоиде затруднительно, и поэтому конструкторы искали все новых путей, с помощью которых можно было бы получать значительные поля в значительных объемах.

Может быть, использовать другое охлаждающее вещество? В этом смысле интересный эксперимент был сделан в Калифорнийском университете. Там еще в 1959 году был построен соленоид, охлаждаемый керосином. Почему был выбран керосин? Дело в том, что вода, особенно с примесями, не является идеальным изолятором, и с некоторого напряжения ее электролитические свойства начинают сказываться. Обмотка, охлаждаемая водой, подвергается коррозии. Анализ других жидкостей, которые можно было бы использовать для охлаждения, показал, что с точки зрения теплоемкости, стоимости, безвредности для обмотки наилучшим является очищенный керосин, закупоренный в сосуде, наполненном нейтральным газом.

«Керосиновый» соленоид имел внутренний диаметр 10 сантиметров, был намотан медной шинкой, потреблял 6000 киловатт мощности, центнер очищенного керосина в секунду и давал магнитное поле в 100 000 эрстед. Соленоид установлен в специальной галерее шириной 2,5 метра и длиной 23 метра. Все крепления — болты, гайки, рамы и другие детали — в радиусе пять метров от магнита были сделаны из немагнитных материалов. Вся галерея во избежание взрыва заполнена инертным газом.

Керосин не был единственным кандидатом на роль лучшего хладагента. Еще в самом начале XX века голландский физик Г. Каммерлинг-Оннес и его сослуживцы по лейденской лаборатории изучали ход температурной зависимости электрического сопротивления различных материалов при понижении температуры. На одной из конференций того времени эта группа выразила уверенность в том, что в ближайшие годы можно будет построить соленоид с полем около миллиона эрстед, если применить глубокое охлаждение проводников. С тех пор прошло более полувека, но до постоянного поля в миллион эрстед ученые так и не добрались.

Как рассуждали Оннес и его сотрудники? Они изучали электрическое сопротивление различных металлов при очень низких температурах ( $-100$ — $250^{\circ}\text{C}$ , или  $15$ — $20^{\circ}\text{K}$ ) и нашли, что при понижении температуры сопротивление резко снижается. А в формуле Фабри, уже известной в то время, электрическое сопротивление стоит в знаменателе. Если подставить новое, пониженное сопротивление, окажется, что магнитное поле при той же затрате мощности возрастет. Таким образом, у Оннеса и его группы, казалось бы, были все основания полагать, что достижение поля в миллион эрстед не за горами. Исследователи не взяли в расчет двух обстоятельств: во-первых, низкие температуры даются не даром — для того чтобы их получить, необходимо затратить значительную энергию; и во-вторых, с ростом магнитного поля за счет явления, называемого магнитосопротивлением, растет и электрическое сопротивление металла, причем эффект магнитосопротивления выражен при низких температурах особенно сильно.

Академик П. Л. Капица в одной из своих статей дает результаты проверки идеи, предложенной в свое время французским физиком Перреном, — охлаждать соленоиды жидким воздухом. Выяснилось, что для охлаждения соленоида с полем 100 000 эрстед, в области диаметром 1 сантиметр потребуется прокачивать через него 24 литра жидкого воздуха в секунду. Для обеспечения

соленоида пришлось бы построить целый завод по производству жидкого воздуха.

Может быть, из-за этих обстоятельств, а может быть, и из-за каких-то других, развитие низкотемпературных, или, как их иногда называют, криогенных магнитов сильно задержалось.

Первой серьезной попыткой использовать низкую температуру для снижения электрического сопротивления было создание в 1961 году соленоида на 100 тысяч эрстед, выполненного из алюминия, охлажденного жидким неоном (температура кипения —  $27^{\circ}\text{K}$ ). Внутренний диаметр соленоида составил 30 сантиметров, длина — 200 сантиметров. Это — один из самых больших соленоидов в мире, если не самый большой, учитывая его колоссальное поле. Предназначен он для термоядерных исследований и поэтому на концах имеет «магнитные пробки», в которых напряженность магнитного поля составляет 200 тысяч эрстед. Однако работать этот соленоид может лишь в течение одной минуты, за которую весь запасенный в криостатах жидкий неон превращается в газ. Вес алюминиевых обмоток — 5 тонн.

После постройки этого соленоида было сделано много попыток превзойти его магнитное поле, используя другие охлаждающие вещества — такие, например, как жидкий азот, жидкий водород и другие материалы обмоток, например натрий, запрессованный в тонкую стальную трубку. Хотя эксперименты эти многообещающи, превзойти рекордные результаты никто пока не смог.

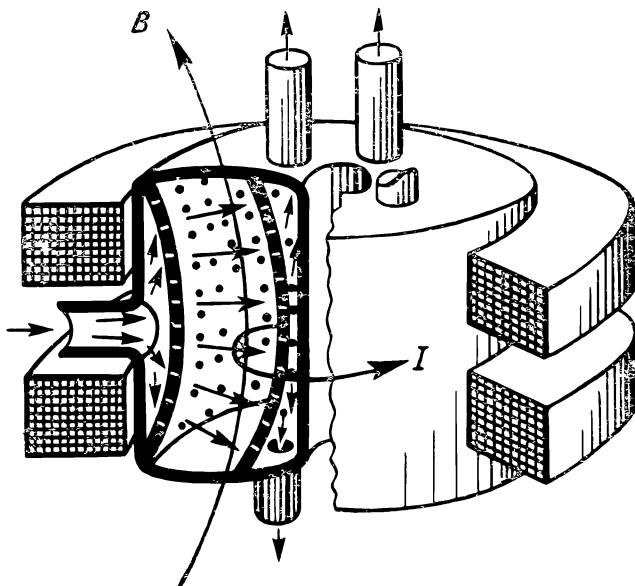
Несколько слов о питании таких магнитов. Чаще всего они получают его от собственной энергетической установки, вырабатывающей постоянный ток мощностью в несколько тысяч киловатт. Когда этой мощности недостаточно (как это получилось с рекордным соленоидом Кольма), на вал машин насаживают маховик. Накопив в нем достаточную энергию, можно в течение короткого времени снимать с генераторов мощность, превышающую номинальную величину в несколько раз.

В Королевском радарном центре в Англии источником питания соленоидов служат мощные аккумуляторные батареи, снятые с подводной лодки.

В поисках новых путей Кольм разработал конструкцию соленоида, названного им гидромагнитом. Соленоид состоит из соосных труб, между которыми в радиальном направлении поступает какая-нибудь проводящая жидкость, например жид-

кий натрий или жидкое серебро. Обе трубы помещены в небольшое магнитное поле возбуждения.

Поступающая жидкость пересекает силовые линии поля возбуждения, и в ней наводится электродвижущая сила. Под действием этой электродвижущей силы в жидкости начинает течь электрический ток, совпадающий по направлению с током,



Гидромагнит. Струи жидкого серебра, по которым течет ток, играют роль обмоток сверхмощного электромагнита.

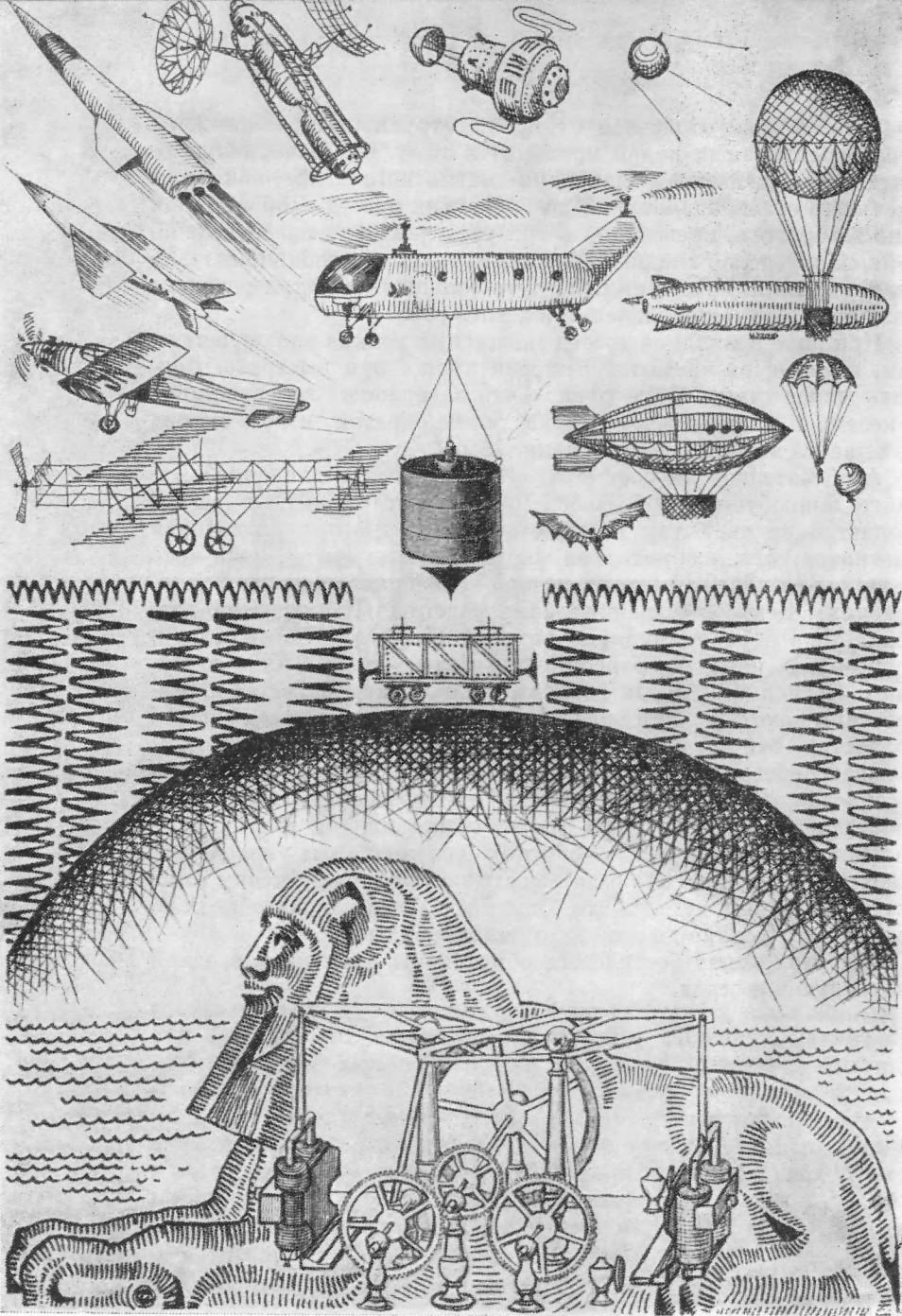
создающим поле возбуждения. Таким образом, сама жидкость как бы становится обмоткой соленоида. Величина магнитного поля, которое можно получить с помощью этой «обмотки», зависит от скорости жидкости, ее электропроводности и величины поля возбуждения. Кольм рассчитал, что в гидромагните, наполненном расплавленным серебром при температуре  $1000^{\circ}\text{C}$ , в магнитном поле возбуждения 60 тысяч эрстед при расходуемой мощности 70 тысяч киловатт и при скорости серебра в 200 литров в секунду, можно будет получить магнитное поле в 400 тысяч эрстед.

Однако если отвлечься от прочих трудностей, достижение столь грандиозных полей приводит к тому, что материалы обмотки под действием давления магнитного поля начинают «течь». В соленоиде Кольма на 250 тысяч эрстед давление, как уже говорилось, превышало в три раза давление на дне глубочайшей океанской впадины. А давление растёт пропорционально квадрату поля. Увеличив поле чуть больше, чем в три раза, мы получим увеличение давления в десять раз.

При поле в миллион эрстед магнитные усилия эквивалентны тем, которые развиваются в жерле пушки при выстреле. Держать такое поле — все равно что задержать взорвавшийся в казенной части пушки снаряд таким образом, чтобы снаряд не вылетел и пушка не разорвалась бы.

А обязательно ли рост поля связан с ростом давления? Давайте попробуем разобраться. Электромагнитная сила всегда создается за счет так называемого векторного произведения плотности тока в обмотке на индукцию магнитного поля (это та же самая лоренцова сила, которая отклоняет частицы в ускорителях). Векторное произведение максимально, когда направление тока перпендикулярно направлению магнитного поля, и равно нулю, когда направления магнитного поля и тока совпадают. Несколько ученых воспользовались этим законом и разработали конфигурации обмоток и соленоидов, в которых почти полностью отсутствуют усилия. Такие обмотки и соленоиды называют «бессиловыми». На рисунке (см. вклейку) изображена бессильная система для исследования термоядерных реакций, работающая на несколько ином принципе — в ней усилия переносятся с «нежных» обмоток соленоида на массивный стальной постамент. Эта база испытывает усилие в тысячу тонн. Страшно даже подумать, что было бы с «воздушной» обмоткой, если бы это усилие действовало целиком на нее!

О других типах бессильных обмоток мы расскажем в одной из следующих глав.



В этой главе автор сначала рассказывает об одном неизвестном ленинградском музее, затем, оттолкнувшись от рисунка, напоминающего детский, пытается проследить развитие магнитов электрических машин и делает печальный вывод, но потом оказывается, что все дело не так безнадежно, потому что охлаждение магнитов-гигантов постепенно приносит свои плоды; а в конце главы автор ведет разговор о самом миниатюрном магните — величиной с маковое зернышко.

В Ленинграде есть музей, о существовании которого не подозревают даже многие ленинградцы. Расположен он над актовым залом Ленинградского политехнического института в нескольких просторных галереях. Экспонаты музея — электрические машины всех времен и эпох, разнообразнейших размеров, типов и назначений. Некоторым из этих машин около ста лет.

Прохаживаясь по залам музея, трогая бронзовых ангелочков и чугунные цветы на ранних машинах и думая непрерывно о том, что я нахожусь в галерее удивительных магнитов, все время менявших свою форму, проходивших, как шелковичный червь, самые невероятные перипетии развития, я вдруг пришел к странному выводу: начавшееся в 1821 году развитие электрических машин шло после этого бурными темпами лишь несколько десятков лет; потом оно остановилось так резко, как будто кто-то обрезал ножом, — и с тех пор электрическая машина приобрела какой-то «вечный» вид, на который ничто, казалось бы, не могло повлиять, и в результате машины, построенные в конце прошлого века, почти ничем не отличаются от своих ультрасовременных сестер. Размышляя об этом, я начал перебирать в памяти факты, относящиеся ко времени, когда были сделаны первые удивительные открытия, которые были под силу лишь наиболее искусным и чудовищно, невероятно терпеливым...

В канун наступающего 19-го столетия немецкий физик Риттер в письме своему бывшему ученику Эрстеду предсказал, что в 1820 году будет сделано выдающееся научное открытие. Иногда такие прогнозы сбываются — в 1820 году Эрстед открыл магнитные свойства электрического тока. Буквально через несколько дней после открытия Эрстеда Араго заметил прили-



пание железных опилок к проволоке с электрическим током. Еще через несколько дней Ампер и Араго изготовляют первый соленоид. Задача превращения электричества в магнетизм была решена. Встала другая задача — превратить магнетизм в электричество. Решение ее принадлежит великому Фарадею. Для этого человека не существовало ничего, кроме науки. Наука была его всепоглощающей страстью, забиравшей все его внимание и время. Он мог бы стать миллионером, эксплуатируя свои многочисленные открытия, — однако Фарадей сразу охладевал к открытиям, как только ими заинтересовывались промышленники. Он родился, жил и умер в бедности.

Занятия наукой были ему лучшей наградой в жизни.

Майкл Фарадей родился в сентябре 1791 года. С тринадцати лет он работал переплетчиком и не в пример многим другим переплетчикам интересовался содержанием книг, которые он переплетал. Особенно он любил «Беседы о химии» Марсе и главы «Британской энциклопедии», посвященные физике. Несколько раз он посетил лекции всемирно известного ученого Гэмффри Дэви и с тех пор стал мечтать работать у него. В декабре 1842 года он расхрабрился и послал Дэви письмо, в котором сообщал, что решил заняться научной деятельностью, и просил места в лаборатории. В качестве приложения Фарадей присовокупил к письму конспекты прослушанных им лекций Дэви, разумеется в отличном переплете.

Дэви, получив письмо, был в нерешительности.

— Вот письмо одного юноши, по имени Фарадей; он слушал мои лекции и просит дать ему место в институте. Что мне с ним делать? — спросил Дэви у своего институтского коллеги Пиписа.

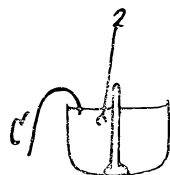
— Что делать? Вели ему мыть бутылки, — если он согласится, то из него будет толк, если же нет, то он ни к чему не годен.

Дэви взял Фарадея своим секретарем, однако несколько месяцев спустя выгнал его и посоветовал снова заняться переплетным делом. Позже Дэви смягчился и взял Фарадея лаборантом.

Сразу после открытия Эрстеда Фарадей стал наблюдать за проволокой с током. После года попыток он создал устройство, непонятно как работающее (Фарадей изобрел так называемый униполярный двигатель, принцип его действия можно строго объяснить только с позиций открытой Эйнштейном теории относительности).

Факсимильное изображение Фарадеем своего изобретения показано на рисунке.

С этого рисунка, напоминающего детский, ведет свою историю вся электроэнергетика. Этот рисунок — и Братская ГЭС, и двигатели атомхода «Ленин» в самом зародыше. С этого рисунка начинается история электромашиностроения.



С этого рисунка Фарадея берет свое начало электромашиностроение.

Практическая реализация исторического рисунка Фарадея проста — на металлическом крючке укреплен проводочек, который может совершать вращательное движение. В сосуд залита ртуть, в которую погружен магнитик. Ртуть, являющаяся хорошим проводником, подсоединена к одному полюсу источника тока, крючок — к другому. Когда цепь замкнута, магнитик начинает вращаться. Это происходит вследствие того, что взаимодействие кругового магнитного поля тока проволоки и униполярного поля (поля одного полюса) магнитика приводит к тому, что с одной стороны проводочки поле становится больше, а с другой стороны — меньше, и проводочек выталкивается в область с меньшим полем. Это был по существу первый электродвигатель, построенный человеком. Он, как видно, не слишком-то напоминает привычные нам электромоторы.

На таком же принципе работало и изобретенное П. Барлоу в 1824 году «колесо Барлоу», а также «электромагнитный самовращатель» Аньоша Едлика (1828 год).

В 1827 году Фарадей становится профессором в Королевском институте. Он помнит о задаче, поставленной им сразу после опытов Эрстеда, — превратить магнетизм в электричество. Фарадей ставит множество опытов, ведет педантичные записи. Каждому небольшому исследованию он посвящает параграф в его «Экспериментальных исследованиях по электричеству». О работоспособности Фарадея говорит хотя бы тот факт, что последний параграф «Исследований» помечен под № 16041.

Блестящее мастерство Фарадея-экспериментатора и его одержимость дали результат — через одиннадцать лет после Эрстеда, 29 августа 1831 года, он, быстро вдвигая железный сердечник в катушку, убедился в том, что в этот краткий момент в цепи катушки возникает ток. Будь прибор Фарадея не на виду у него или у его ассистента в тот самый момент, когда он вставлял сердечник, неизвестно, сколько времени ему пришлось бы биться над своей задачей.

Интересно, что одновременно с Фарадеем абсолютно такие же опыты проводил великий Ампер. Чтобы избежать ошибок,

и Фарадей и Ампер поместили измерительный прибор в другую комнату. Разница, казалось бы, была очень небольшой: Ампер сначала вдвигал сердечник, а потом следовал в соседнюю комнату посмотреть, не появился ли ток. Пока Ампер шел из комнаты в комнату, ток, который возникает лишь во время вдвигания, то есть во время изменения магнитного поля во времени, уже успокаивался, и Ампер, придя в соседнюю комнату, убеждался в том, что «никакого эффекта нет», Фарадей же работал с ассистентом, находившимся в соседней комнате. При вдвигании Фарадеем сердечника ассистент заметил отклонение стрелки прибора.

Можно снова и снова повторять за Гельмгольцем: «И от этих случайных обстоятельств зависело великое открытие!»

Через несколько дней после открытия электромагнитной индукции Фарадей набрасывает пером на бумаге и строит первый в мире электрогенератор. Очень интересно, что Фарадей изобрел у н и п о л я р н ы й генератор, то есть опять-таки наиболее сложный по принципу действия из всех генераторов, известных на сегодняшний день. Еще интересней, что точно такой же по принципу действия генератор Фарадей мог получить девять лет назад — стоило ему самому начать крутить вокруг магнита проволочку своего первого двигателя, а не ждать, пока она закрутится при пропускании тока, и он имел бы электрогенератор! Ведь сейчас каждому школьнику известно, что электродвигатель и электрогенератор обратимы, то есть легко обращаются друг в друга!

Но Фарадей не догадался покрутить проволочку вокруг магнетика...

«И от этой мелочи...» и так далее — по Гельмгольцу.

Итак, Фарадей с интервалом в девять лет сделал два величайших открытия, которые, можно сказать с уверенностью, произвели революцию в жизни человечества, — он изобрел электродвигатель и электрогенератор.

Естественно, на эти открытия нашлось много претендентов. Еще в 1821 году, когда Фарадей опубликовал результаты экспериментов с первым электродвигателем, ему пришлось выдерживать бой за приоритет с неким Уолластоном, который заявил, что все эти эксперименты проделаны с его, Уолластона, слов и в соответствии с его идеями. Интересней всего было то, что Уолластон действительно предложил правильную идею эксперимента Фарадею, однако Фарадей его, по-видимому, невнимательно слушал и понял так, будто Уолластон говорил о вращении проволочки вокруг своей оси. Таким образом, если

Фарадей и не был первым в предложении идеи двигателя, то дошел он до нее самостоятельно. Уладить скандал стоило больших трудов, и в конце концов при баллотировке Фарадея профессором в 1824 году Уолластон поддержал его кандидатуру. Однако Дэви голосовал против — трудно сказать, сыграла ли в этом роль тень, брошенная на Фарадея Уолластоном, или обыкновенная зависть.

Ампер тоже претендовал на открытие, опубликовав материал об аналогичной конструкции в 1823 году.

Как только Фарадей опубликовал работы по электромагнитной индукции, скандал разразился снова. На этот раз претендентами на открытие был известный американский электротехник Генри, открывший явление с а м о и н д у к ц и и, и итальянец Кавальери Антинори. Однако Фарадей смог доказать, что и Генри и Антинори проводили свои эксперименты уже после того, как они слышали об опытах Фарадея.

Несмотря на то что Фарадей был слабым математиком, он в своих трудах заложил основы теории электромагнетизма, впоследствии описанной в «уравнениях Максвелла».

«Когда я стал углубляться в изучение работ Фарадея,— писал Максвелл,— я заметил, что метод его понимания тоже математичен, хотя и не представлен в условной форме математических символов. Я также нашел, что метод может быть выражен в обычной математической форме и таким образом может быть сопоставлен с методами признанных математиков».

Фарадей первым высказал идею о том, что в с е пространстве, окружающее магнит, заполнено силовыми линиями, которые вполне реальны и наделены упругостью. Кроме магнитных, в пространстве существуют другие силы: электрические, лучевые, тепловые и гравитационные. Линии совершенно однозначно определяют направление и величину силы, действующей на предмет.

Почему сила притяжения у полюсов магнита сильнее, чем в других местах?

Ответ прост — здесь густота, плотность силовых линий (в настоящее время для этой величины имеется особый термин — индукция, с единицами измерения — гаусс и тесла; индукция, выраженная в гауссах, численно равна в вакууме напряженности магнитного поля, выраженной в эрстедах) выше, чем в других местах.

Новым в физических воззрениях Фарадея было то, что вопреки всем предыдущим представлениям, идущим от Лукреция, Фарадей не использовал понятия «магнитных корпуску-

лов», которые производят магнитное действие. Вместо них Фарадей ввел понятие магнитного поля — пространства, в котором действует магнит. Он считал притяжение следствием изменения свойств пространства. Это была глубоко революционная идея, заложившая основы теории поля.

Униполярный генератор, предложенный Фарадеем, был очень красив по принципу действия, но не был удобен для практического использования. В лучшем случае он мог служить изящным украшением физических лабораторий. Никому и в голову не приходило, что явление индукции, открытое Фарадеем, можно использовать практически.

И тут на сцене появляется таинственный незнакомец П. М. (Р. М.) Через несколько недель после открытия Фарадея он приносит в патентное бюро электрический генератор с постоянными магнитами совершенно необычной и неожиданной конструкции. Интересней всего то, что, как писал впоследствии академик М. П. Костенко, «...основные черты машины П. М. были настолько правильны, что на много лет определили конструкции машин позднейших изобретателей». Как будто бы человек заглянул вперед за несколько десятилетий и избавил человечество от необходимости терять время напрасно.

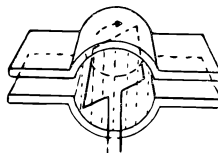
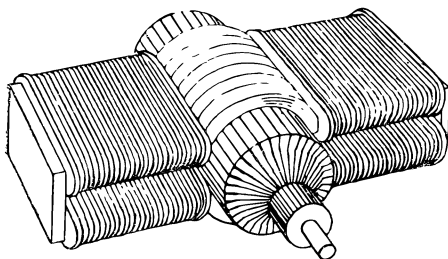
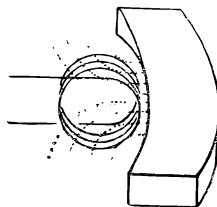
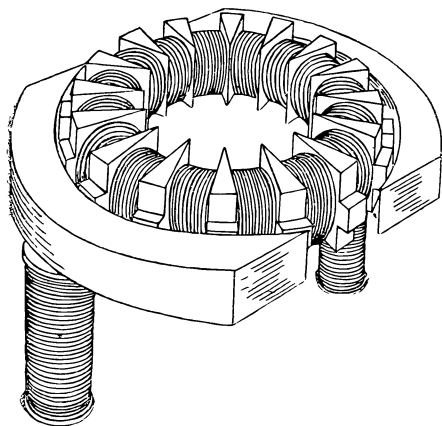
Кто вы, таинственный П. М.?

В ряду людей, поставивших электричество на службу человечеству, мы не смогли проставить вашего имени. Но мы всегда будем вам благодарны, как и многим другим, предшествовавшим вам и следовавшим за вами...

Следующими были машины братьев Пикси (1832 г.) и В. Риччи (1833 г.). Новым в работах Риччи было введение коллектора и указание на то, что вместо магнитов в генераторах можно использовать электромагниты.

Громадными шагами вперед было изобретение А. Пачинотти кольцевого якоря, а затем изобретение Ф. Гефнер-Альтенеком барабанного якоря электрической машины, которые в конечном счете привели машину-генератор к его современному виду. Это было в 1872 году. С тех пор конструкция генераторов практически не изменялась.

С двигателями дело обстояло примерно так же. До тех пор пока люди не понимали, что электродвигатель и электрогенератор — это, по сути дела, одно и то же, они разрабатывали конструкции двигателей отдельно от конструкций генераторов. В разработке двигателей сильно сказалась инерция строителей паровых машин. Двигатели, построенные в 1832 году Д. Генри и в 1846 году У. Пейджем, имели коромысла, золотники, криво-



Эволюция якоря электрической машины. С течением времени форма магнитов электрических машин непрерывно менялась. Сверху вниз: кольцевой якорь Пачинотти; барабанный якорь Гейфнер-Альтенка.

шпы и шатуны. Двигатель Пейджа не только напоминал паровой по виду, но и был установлен на локомотив, где, получая электроэнергию от батарей, смог довести скорость локомотива до 30 километров в час.

В 1838 году Б. Якоби создал первую практическую модель двигателя с круговым вращением якоря. Двигатель этот произвел сенсацию, потому что, будучи установлен на катере длиной 8,5 метра и шириной 2,1 метра, двигавшемся с шестнадцатью пассажирами на борту, он смог развивать солидную скорость не только по течению Невы, но и против ее течения.

Мощность его была всего полкиловатта.

В семидесятых годах прошлого века электротехники наконец поняли, что двигатель и генератор — это две стороны одной и той же медали, и, таким образом, разработанная к тому времени конструкция генератора стала и конструкцией двигателя.

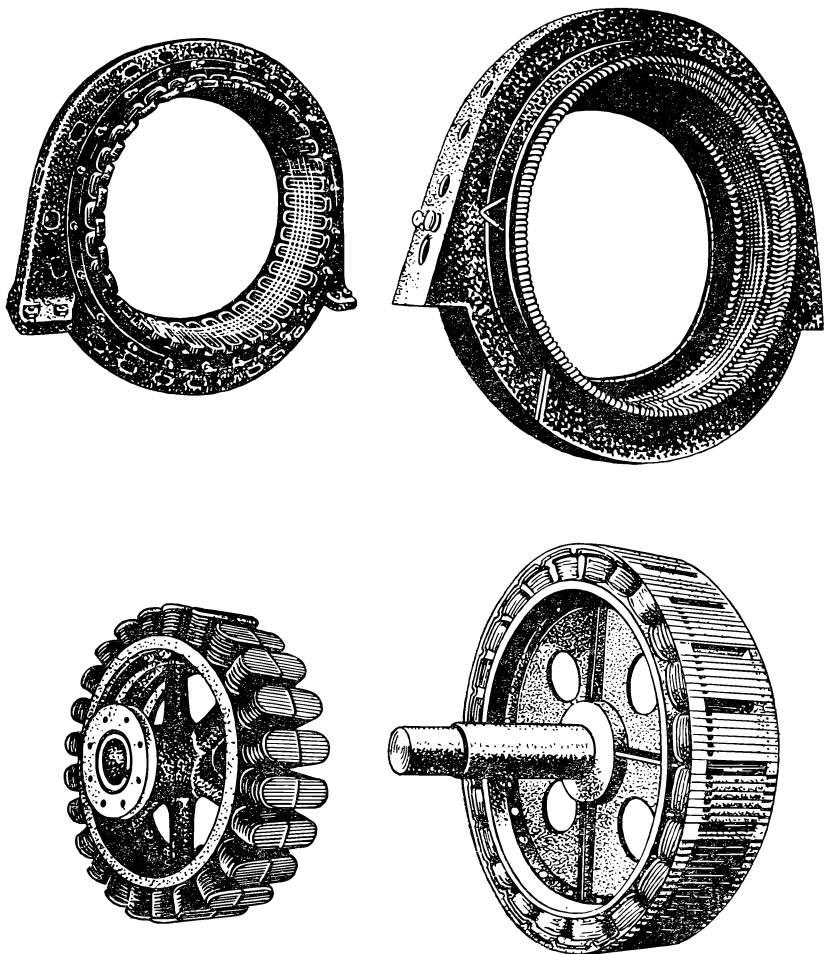
И с тех пор основные типы машины практически не изменяются.

Конструкция машин была разработана, оставалось наращивать их мощность. Машины становятся все больше и больше по размерам. Уже в восьмидесятых годах компания «Мозер и Платт» в Манчестере построила для одного генератора магнит весом в 46 тонн. Это колоссальная цифра, потому что современные инженеры, используя такой магнит, могли бы выжать мощность большую, чем мощность Днепрогэса.

Итак, скоро будет сто лет с тех пор, как облик электрических машин установился. С тех пор машина подвергалась лишь принципиальным конструктивным изменениям. С начала века, как это видно из рисунка, они почти не изменяются.

...И вот стоят в ленинградском музее машины, как две капли воды похожие одна на другую, хотя одна из них построена в 1905, а другая — в 1965 году... За это время парусиновая птица Можайского превратилась сначала в «Илью Муромца», затем — в «Максима Горького», затем в ТУ-104; открыта атомная энергия, взорвана атомная бомба, построены атомные электростанции; Землю опоясали орбиты спутников, и вот уже человек вышел за пределы космического корабля, прокладывая путь к звездам... А электрические машины, как каменные сфинксы, взирают на «всю эту суету» с вершины своего достигнутого совершенства, и кажется, будут такими вечно...

Но это впечатление обманчиво. Стоит лишь подойти поближе и посмотреть на заводские щитки, на которых написана номи-



Машины, выпущенные в 1910 году (слева) и в 1960 году (справа).  
Бросается в глаза отсутствие каких-либо принципиальных изменений в конструкции.

нальная мощность машины, как окажется, что мощности одинаковых по размерам машин несравнимы — они различаются порой в десятки раз. Это происходит потому, что люди с течением времени научились лучше использовать свойства магнитов. Поясню вкратце, в чем тут дело.



Как показал Фарадей, для осуществления электромагнитного взаимодействия в двигателе или генераторе необходимо наличие двух взаимодействующих магнитных полей — поля статора и поля ротора, направленных в общем случае навстречу друг другу. Чем сильнее эти поля, тем сильнее взаимодействие, тем больше мощность.

И магнитное поле ротора, и магнитное поле статора создаются специальными обмотками, заложенными в пазы, проточенные в стальных сердечниках, и поэтому и статор, и ротор представляют собой по существу два электромагнита своеобразной формы.

Для того чтобы увеличить магнитное поле этих электромагнитов, необходимо увеличивать ток в проводниках обмотки. Однако даже если отвлечься от насыщения, увеличивать его безгранично нельзя, поскольку проводники начинают перегреваться и изоляция сгорает. Существует даже специальное «правило восьми градусов», которое гласит: при повышении температуры изоляции на восемь градусов срок службы ее сокращается вдвое.

В свете этого правила становится ясным, какое большое значение приобретает охлаждение проводников. Прежний универсальный способ увеличения мощности — увеличение размеров — больше неприемлем. Машины большей мощности не могут обладать большими размерами, чем те, которыми обладают их предшественники, выполненные в смысле размеров «на пределе».

Что является предельным размером электрической машины? Во-первых, максимальный размер стальной поковки, которую могут изготовить на металлургическом заводе (если ротор турбогенератора выполнить составным, он будет разорван механическими центробежными усилиями).

Во-вторых... высота железнодорожных мостов, ширина и высота железнодорожных тоннелей. Ведь электрические машины изготавливаются обычно в одном месте, а устанавливаются в другом. Их нужно перевозить с места на место и, как правило, по железной дороге. Поэтому требования железнодорожников сильно влияют на конструкцию электрических машин. Некоторые машины, правда, можно разрезать на части (к ним относятся гидрогенераторы), и эти машины продолжают с ростом мощности наращивать размеры и уже сейчас насчитывают десятки метров в диаметре и тысячи тонн по весу (крупнейший в мире гидрогенератор для Красноярской ГЭС мощностью в 500 тысяч киловатт (почти Днепрогэс) весит около двух тысяч

тонн). Другие крупнейшие электромашины (турбогенераторы) по ряду соображений нельзя разрезать на куски, и для них железнодорожный габарит — это и есть то прокрустово ложе, в котором они должны разместиться.

Это привело к тому, что, достигнув в начале века максимальных «железнодорожных» пределов, турбогенераторы уже не смогли расти дальше в размерах. Несмотря на это, их мощность увеличилась к 1966 году в двадцать раз!

Значительную роль сыграли в этом и советские ученые-электромашиностроители: академики В. Ф. Миткевич, В. М. Шенфер, М. П. Костенко, члены-корреспонденты АН СССР Г. Н. Петров, Д. А. Завалишин, профессора Е. Я. Казовский, И. Д. Урусов, Р. А. Лютер, кандидаты наук В. В. Титов, Г. И. Дьяченко, Э. Г. Кашарский, Я. Б. Данилевич, Г. М. Хуторецкий и многие другие.

Как удалось этого достигнуть?

Примерно теми же способами, с помощью которых можно создать сильные магнитные поля, — то есть в первую очередь эффективным охлаждением.

Сейчас на ленинградском заводе «Электросила», харьковском заводе «Электротяжмаш», на Новосибирском турбогенераторном заводе и во многих зарубежных фирмах разработаны очень эффективные системы охлаждения газообразным водородом, водой и трансформаторным маслом. Одна из таких систем для охлаждения водородом изображена на рисунке (на вклейке). Трубки, видимые на рисунке, служат для подвода газообразного водорода, охлаждающего медные проводники. В других системах по аналогичным трубкам с большой скоростью подается вода. Существует множество других систем охлаждения. Особые перспективы открывает охлаждение проводников машины до температуры кипения жидкого гелия, при которой некоторые вещества обладают сверхпроводимостью.

Только благодаря усиленному охлаждению магнитов удалось в том же объеме машины и при сохранении в неприкосновенности конструктивного принципа повысить ее мощность в два десятка раз.

Сейчас речь шла о турбогенераторах и гидрогенераторах — самых больших и самых мощных электрических машинах с размерами, измеряемыми десятками метров, и весом, достигающим тысяч тонн.

Давайте теперь перейдем, так сказать, «на левый фланг» электрических машин — в область электрических машин, где магниты даже неловко называть магнитами, до того они крошеч-

ные; для таких магнитов самым подходящим словом будет «магнители». Это и не мудрено, если даже по сравнению с булавочной головкой некоторые из них не кажутся слишком внушительными.

Целый рой миниатюрных электрических машин, многие из которых были меньше наперстка, появился в двадцатых годах. Одним из первых создателей их был американский часовщик Гомез, да и то по злой нужде. Его отец, желая проверить способности сына, до этого учившегося в электротехнической школе, заставил его самого сделать миниатюрный действующий электромотор. Видимо, полагая задачу неразрешимой, он неосмотрительно посулил сыну в случае выполнения его задания дать деньги на путешествие в Испанию. Однако сын оказался настойчивым и по прошествии двух месяцев представил удрученному папаше миниатюрный мотор, приводящий в движение игрушечный лифт. И лифт, и мотор были по размеру чуть больше наперстка.

Моторчик Гомеза просто гигант по сравнению с моторчиками, появившимися в последние годы.

Первым, кто сделал моторчик меньше наперстка, был японец Мацуи Мисиема. Он в объеме наперстка сумел разместить два магнита сложной формы — статор и ротор, щетки, клеммы, подшипники. Однако этот моторчик был гораздо крупнее моторчика немецкого инженера Капенки. Модель Капенки имела размеры  $4 \times 5 \times 7$  миллиметров.

Рекорд Капенки вскоре был побит Михаилом Маслюком, живущим на Украине, получившим за свои ювелирные поделки серебряную медаль ВДНХ. Маслюк изготовил электродвигатель весом 0,06 грамма.

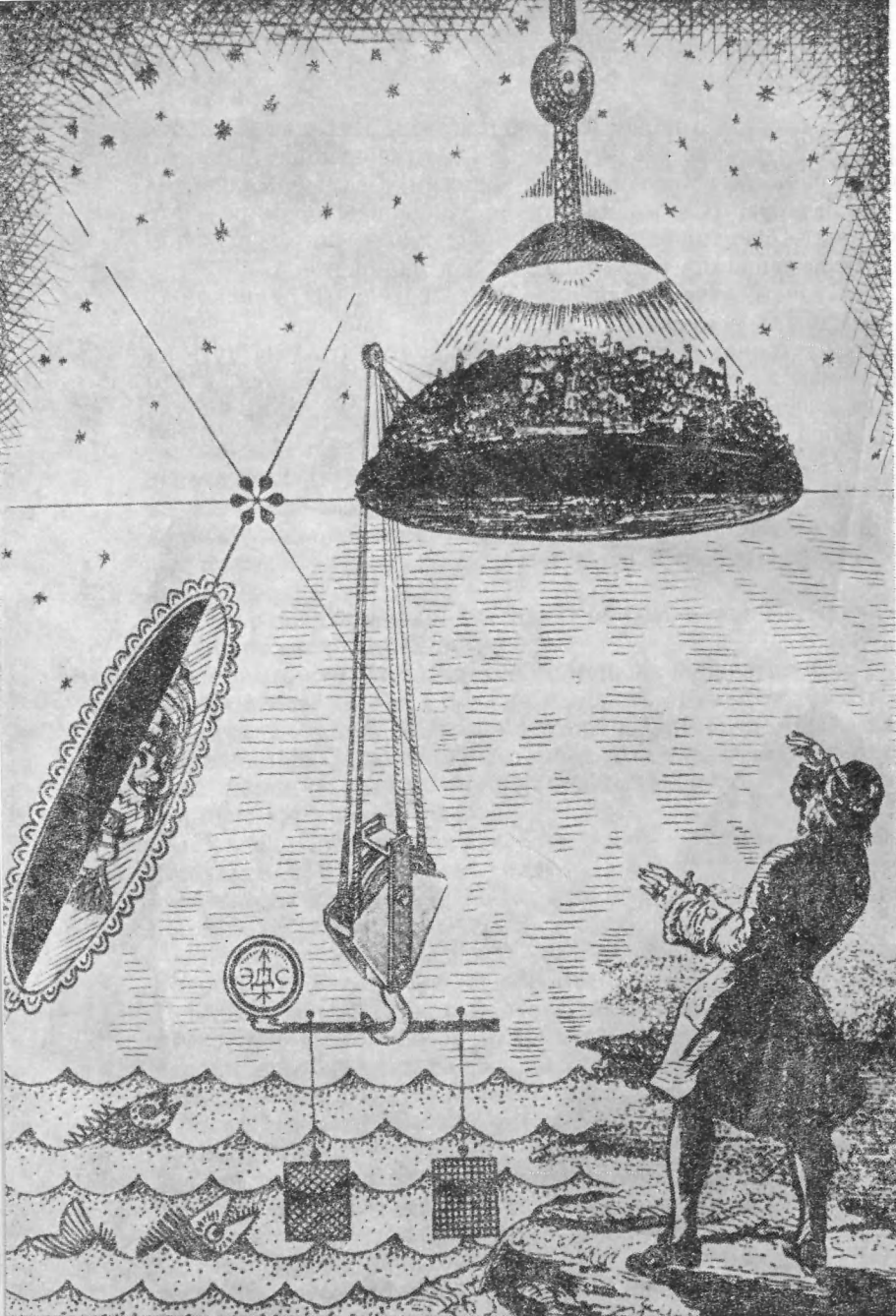
Моторчик Маслюка весит в четыре раза больше и занимает в шесть раз больше места, чем моторчик голландского умельца Йозефа д'Эйнса. Габариты этого моторчика  $1,5 \times 2 \times 2,2$  миллиметра. Все детали моторчика, за исключением тончайшей проволоки и рубиновых часовых подшипников, изготовленных по специальному заказу в Швейцарии, д'Эйнс сделал сам. Моторчик д'Эйнса так же, как и моторчик Маслюка, может найти себе практическое применение в миниатюрном медицинском зонде для анализа желудочного сока. Моторчик проглатывается вместе с зондом и служит его двигателем при продвижении по желудку и даже по кишкам вдоль нейлоновой нити.

Моторчик д'Эйнса — очень большое достижение. Что же тогда сказать о моторчике Николая Сядристого, который в четыре раза меньше макового зернышка? В этом моторчике 15 дета-

лей. И что сказать о новом электродвигателе Михаила Маслюка, который в пятьдесят раз меньше макового зернышка? Магнетики моторчика М. Маслюка — по-видимому, самые маленькие магниты в мире. (Самые маленькие соленоиды в мире — это криотроны — сверхпроводящие элементы вычислительных машин. Их помещается несколько сотен в наперстке.)

Я рассказал сейчас о наиболее употребительных и знакомых всем магнитах — магнитах электрических машин, наиболее прочных бастионах техники. Повторим опять, что уже чуть не сто лет, как их конструкция практически не меняется, и это кажется необычным в наш бурный век, когда за какие-нибудь годы в корне меняются многие представления. А может быть, просто не пришло время нового незнакомца П. М.?

Где вы, таинственный П. М.?



## НА ДНЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО КОЛОДЦА

Новая глава, посвященная странному и холодному миру сверхпроводников. Речь в главе идет об открытии одного пожилого человека, о надеждах, которые возникали, чтобы уступить место унынию, и затем возрождались вновь, о радиационных поясах, «безумных идеях» и космических каравеллах грядущего.

*На берегах неведомого увидели мы  
странные следы.*

*Артур С. Эддингтон*

1853 год был счастливым для Голландии. В этом году родились три человека, которым суждено было стать гордостью этой небольшой страны и всего мира. Этими тремя людьми были Лоренц, Ван-Гог и Каммерлинг-Оннес. Сколь резко различались они между собой по области творчества, внешности и темпераменту, столь резко различались и их судьбы.

Г. Лоренц уже в двадцать лет был признанным ученым. Его исследования в области оптики и теории электрона уже с этого времени считались «истиной в последней инстанции». И чем дальше, тем больше уважение и почет сопутствовали жизненному пути этого лейденского профессора, обессмертившего свое имя введением «преобразований Лоренца», которые являются мощным фундаментом теории относительности. После смерти Лоренца в 1928 году Альберт Эйнштейн сказал над его могилой: «Жизнь Лоренца — драгоценное произведение искусства».

Винцент Ван-Гог, один из величайших художников, когда-либо живших на земле, хотевший «красным и зеленым выразить неистовые страсти человечества», был признан лишь незадолго до своего самоубийства в Овере в возрасте тридцати семи лет. Затравленный, полуголодный, преданный друзьями и родственниками, не понятый широкой публикой, этот поэт и мыслитель провел последние годы своей жизни в больнице для умалишенных.

В жизни Гейке Каммерлинг-Оннеса ничто, казалось, не предвещало мировой славы. Широко известный, но не блестящий ученый, опубликовавший в специальной литературе многочисленные работы по радиоактивности, термодинамике и сжижению газов, в 1911 году был уже почти шестидесятилетним ста-

риком. Но одним весенним утром этого года он вошел в лабораторию обычным заведующим кафедрой, а вечером вышел — первооткрывателем сверхпроводимости. Один день обеспечил ему бессмертие...

Вот ступени, которые привели к открытию сверхпроводимости:

1823—1845 годы — англичанин М. Фарадей «между делом» ожигает все газы, кроме кислорода, водорода, азота и нескольких других, которые он объявляет «постоянными»;

1877 год — француз Л. Кальете получает жидкий кислород в виде капелек тумана;

1878 год — швейцарец Р. Пикте ожигает водород и получает его в виде тумана;

1878 год — англичанин Дж. Дьюар изобретает «сосуд Дьюара», в котором можно длительно сохранять охлажденные газы (некоторое представление о сосуде Дьюара дает стеклянный баллон обычного термоса);

1883 год — поляки З. Вроблевский и К. Ольшевский уверенно ожигают азот и кислород;

1896 год — англичанин Дж. Дьюар получает жидкий водород в виде капель;

1908 год — голландец Г. Каммерлинг-Оннес впервые получает жидкий гелий в виде небольшого облачка тумана.

До 1911 года было совершенно неясно, как должно изменяться электрическое сопротивление металлов при снижении их температуры. Учеными допускались в то время три различные точки зрения:

Из классической теории электромагнетизма хорошо известно, что сопротивление проводника падает с уменьшением температуры. Объяснить это явление можно очень просто. Электрический ток — это поток свободных электронов сквозь кристаллическую решетку металла. При высоких температурах из-за термического колебания атомов решетки увеличивается вероятность столкновения электронов с решеткой — это препятствует движению электронов и создает сопротивление току. При низких температурах, когда амплитуда колебаний атомов в решетке уменьшается, вероятность столкновения электронов с решеткой становится меньше, и ток встречает, таким образом, меньшее сопротивление. При абсолютном нуле, когда решетка уже неподвижна, сопротивление проводника равно нулю.

Нет, говорили другие ученые. Некоторое сопротивление току останется и при абсолютном нуле, поскольку и при нуле

некоторые электроны будут сталкиваться с решеткой, тем более что кристаллические решетки, как правило, не являются идеальными — в них всегда есть дефекты и включения примесей.

И то и другое толкование неверно, говорили третьи. Сопротивление металлов при приближении к абсолютному нулю должно возрастать, так как в силу конденсации электронов на решетке их число при охлаждении будет непрерывно снижаться, вследствие чего электропроводность (определяемая числом свободных электронов) снижается (электропроводность — величина, обратная сопротивлению).

Действительно, до 1911 года трудно было представить себе еще какой-нибудь вариант.

Весной этого года Гейке Каммерлинг-Оннес впервые заморозил ртуть в дьюаровском сосуде, содержащем жидкий гелий. Затем он пропустил через ртуть ток и наблюдал за стрелками измерительных приборов, показывающих сопротивление, которое, как и ожидалось, постепенно снижалось по мере падения температуры. Знакомое соотношение между двумя этими параметрами сохранялось до тех пор, пока температура не достигла  $4,12^\circ$  по шкале Кельвина (т. е.  $4,12^\circ$  выше абсолютного нуля). Внезапно электрическое сопротивление ртути исчезло; не осталось даже остаточного сопротивления, обусловленного столкновениями электронов с дефектами и примесями решетки.

Оннес повторил эксперимент — он взял очень загрязненную ртуть, у которой остаточное сопротивление должно было быть достаточно ясно выражено. Однако при той же самой температуре  $4,12^\circ\text{K}$  сопротивление ртути так же внезапно пропало. Для того чтобы все-таки измерить это сопротивление, Оннес решил видоизменить опыт. Как увеличить сопротивление столбика ртути — довести его до такой величины, которая бы была зарегистрирована приборами? Очевидно, нужно увеличить длину столбика и уменьшить его сечение. Оннес так и сделал — он изготовил столбик ртути толщиной меньше человеческого волоса и длиной 20 сантиметров. Измерив сопротивление, Оннес поразился — стрелки прибора не сдвинулись с места. Нуль.

Еще попытка, с еще большей точностью измерений. Оннес изготавливает из ртути кольцо и подвешивает его горизонтально на тонкой нити. Если в этом кольце навести ток (это легко сделать, например, выключив находящийся поблизости электромагнит), нить закрутится на некоторый угол. Этот угол можно измерять с чрезвычайно высокой точностью, укрепив на нити зеркальце и прослеживая положение «зайчика». Если в кольце



существует какое-то сопротивление, ток в кольце, как известно, будет постепенно затухать. Это приведет к ослаблению закручивания нити, и «зайчик» переместится с прежнего места. Оннес продельывает этот эксперимент. «Зайчик» не трогается с места: нуль.

Оннес понимает всю ответственность, которая ляжет на него, когда он объявит, что сопротивление было равно нулю, и много раз повторяет измерения, все время повышая их точность.

Опять нуль.

Сверхпроводимость открыта.

Будучи ученым-практиком, Оннес тут же находит сверхпроводимости применение и решает построить вечный электромагнит на 100 тысяч эрстед, не потребляющий энергии. Поскольку, рассуждал Оннес, сопротивление сверхпроводника равно нулю, ток в сверхпроводящем кольце может циркулировать без потерь бесконечно долго. Всякий ток, как известно, создает магнитное поле. Так почему бы не создать из сверхпроводящей проволоки мощный электромагнит, не потребляющий энергии? Создание такого магнита могло бы означать целую революцию в электротехнике. Человечество избавилось бы от бесполезной растраты миллионов киловатт, гибнущих напрасно не только в обмотках магнитов, но и в обмотках электрических машин и трансформаторов. Наконец, можно было бы передавать электроэнергию без потерь на большие расстояния по сверхпроводящим линиям передач.

К сожалению, мечте Оннеса о сверхпроводящем соленоиде на 100 тысяч эрстед не суждено было сбыться, по крайней мере, при его жизни. Как только Оннес пробовал пропустить по сверхпроводнику мало-мальски значительный ток, сверхпроводимость исчезала. Ток, обусловленный сверхпроводимостью, уничтожал сверхпроводимость. Вскоре оказалось, что и слабое магнитное поле, самое большое — тысяча — полторы тысячи эрстед, также уничтожает сверхпроводимость. Поскольку такие поля можно значительно проще получить с помощью обычных постоянных магнитов, с тех пор разработкой сверхпроводящих магнитов в больших масштабах никто серьезно не занимался. Эти довольно печальные открытия сделали с того времени самые разговоры о сверхпроводящих магнитах беспредметными.

Надежды на построение мощных сверхпроводящих магнитов заново возникли в начале 1930-х годов, когда Ван де-Хааз и Д. Вугд, наследники Оннеса по лейденской кафедре (Оннес умер в 1924 году, до практической реализации своего открытия), установили, что сплав свинца с висмутом остается сверхпровод-

дящим в полях, превышающих 20 000 эрстед. Это открытие давало возможность создания сверхпроводящих магнитов с полями по крайней мере до 20 000 эрстед. Однако эти магниты так никто строить и не стал, так как известный физик В. Кеезом нашел, что максимальные токи, которые при наличии магнитного поля выключают сверхпроводимость в этом сплаве, ничтожно малы.

Здесь произошло, может быть, самое драматическое в истории сверхпроводимости событие. Кеезом сделал то, что не имел права делать — он экстраполировал данные, полученные им в слабых полях, на область сильных полей. На основании этой экстраполяции Кеезом установил, что в сильных полях сверхпроводимость будет выключаться столь мизерным током, что о сверхпроводящих магнитах не может быть и речи. К несчастью, Кеезом был слишком авторитетен. Едва узнав о его результатах, физики отложили работы по сверхпроводящим магнитам и занялись другими делами. Между тем сейчас известно, что критический ток сплава свинца с висмутом в полях до 20 000 эрстед достаточно высок для того, чтобы было можно на основе этого сплава создать мощные и высокоэкономичные сверхпроводящие магниты.

Ошибка в вычислениях Кеезома и доверчивость физиков стоила технике очень дорого — более чем на двадцать лет задержалось развитие чрезвычайно перспективной области. Эту задержку трудно переоценить, особенно если принять во внимание то исключительно бурное развитие, которое переживает область сверхпроводниковой техники с 1961 года.

В 1961 году Кунцлер и его сотрудники в лаборатории американской фирмы «Белл Телефон» объявили, что кусочек проволоки из станнида ниобия оставался сверхпроводящим в поле 88 000 эрстед при одновременном протекании по этой проволоке тока плотностью  $1000 \text{ а/мм}^2$  (плотность тока в обычных электротехнических устройствах не достигает обычно и  $10 \text{ а/мм}^2$ ). Существование сильных критических полей у соединений типа станнида ниобия было предсказано советским физиком А. А. Абрикосовым еще в 1956 году. (Его труд отмечен Ленинской премией).

С 1961 года началось чрезвычайно бурное развитие в области сверхпроводящих магнитов — достаточно сказать, что их максимальное магнитное поле возросло с 1961 по 1964 год более чем в 30 раз. Вот почему многие говорят, что в 1961 году сверхпроводимость была открыта во второй раз.

Ртуть и некоторые другие металлы, на которые натолкнулся

Оннес сразу после открытия сверхпроводимости, принадлежат по современной классификации к так называемым сверхпроводникам 1-го рода. Остановимся вкратце на некоторых свойствах этих сверхпроводников.

Сопротивление всех сверхпроводников постоянному неизменяющемуся во времени току равно нулю. Результаты прямых измерений говорят о том, что оно меньше сопротивления в нормальном состоянии по крайней мере в  $10^{23}$  раз.

Иногда спрашивают: неужели сопротивление сверхпроводника действительно равно нулю? Может быть, оно просто очень мало, и мы не замечаем его лишь потому, что не обладаем совершенной измерительной техникой?

Ответ на этот вопрос попытался дать американский ученый С. Коллинс. В марте 1954 года он возбудил ток в сверхпроводящем свинцовом кольце и наблюдал за величиной этого тока. Если сопротивление, хотя бы ничтожное, есть, то ток все время будет уменьшаться, «затухать». Например, для уменьшения практически до нуля тока в серебряном кольце потребуется всего лишь несколько десятых долей секунды. Как же затухал ток в кольце Коллинса? Измерения, произведенные в сентябре 1956 года, показали, что в кольце Коллинса ток абсолютно не изменился! Аналогичный опыт был произведен с соленоидом из сверхпроводника 2-го рода. Однако физики-теоретики, обсуждавшие результаты этого опыта, считают его неточным. По их расчетам, ток даже в сверхпроводящем кольце должен в конце концов затухнуть. Правда, через...  $10^{92}$  лет. Это время в миллиарды миллиардов раз превышает время существования нашей галактики.

Опыт Коллинса говорит о полном отсутствии сопротивления. Обычные, несверхпроводящие металлы, лучшие известные сейчас проводники электричества, такие, как серебро и медь, обладают по сравнению со сверхпроводниками прямо-таки чудовищным сопротивлением! Их можно даже использовать в качестве электрической изоляции для сверхпроводников. Для примера можно указать, что одним из распространенных изоляционных материалов, употребляемых в современных крупных сверхпроводящих соленоидах, является... медь.

Если первое основное свойство сверхпроводников — отсутствие сопротивления — было открыто в 1911 году, то второе важнейшее свойство — лишь спустя 22 года. В 1933 году немецкие физики В. Мейсснер и Р. Оксенфельд открыли, что некоторые сверхпроводники — абсолютные диамагнетики. Что это означает? Мы, например, постоянно находимся в магнитном поле

Земли. Силовыми линиями этого поля пронизываются все минералы, вещества, предметы и существа Земли. Если на пути силовых линий попадется какой-нибудь ферромагнетик — кусок железа например, то в этом куске магнитные линии сгущаются. Если же на пути силовых линий встретится сверхпроводник, магнитные линии будут обходить его. Создается разрежение, «вакуум» силовых линий. Другими словами, внутренняя область сверхпроводника идеально экранирована от внешних магнитных полей (эффект Мейсснера — Оксенфельда). Этим свойством сверхпроводников можно воспользоваться, например, для того чтобы придать силовым линиям магнитного поля заданную конфигурацию — поле будет обходить сверхпроводник.

Это обстоятельство позволило найти сверхпроводникам и сверхпроводящим магнитам чрезвычайно интересную область применения. Однако перед тем как говорить о ней, обратимся к... Джонатану Свифту.

«...Я немного прошелся между скалами: небо было совершенно ясно, и солнце жгло так сильно, что я принужден был вернуться от него. Вдруг стало темно, но совсем не так, как от облака, когда оно закрывает солнце. Я оглянулся назад и увидел в воздухе большое непрозрачное тело, заслонявшее солнце и двигавшееся по направлению к острову... По мере приближения ко мне этого тела оно стало мне казаться твердым; основание же его было плоско, гладко и ярко сверкало, отражая освещенную солнцем поверхность моря...»

То, что увидел Лемюэль Гулливер, «сначала хирург, а потом капитан нескольких кораблей», было летающим островом, державшимся на воздухе так: в острове на алмазных опорах был установлен магнит, который, отталкиваясь от некоего минерала, находящегося в толще Земли, создавал подъемную силу, уравновешивающую вес острова.

Вряд ли Свифт мог предположить, что через двести лет московский физик В. К. Аркадьев воплотит эту «безумную» идею почти в том же виде (но, конечно, не в том масштабе), как она описана Свифтом. Небольшой магнит ( $0,4 \times 0,4 \times 1$  см) висел без какой-либо поддержки над свинцовой пластиной. Этот опыт был проведен при температуре жидкого гелия ( $4,2^\circ\text{K}$ ), а свинцовая пластина была сверхпроводящей.

Этот опыт, получивший впоследствии название «Магометова гроба» (по преданию, гроб с телом пророка Магомета висел в пространстве без каких-либо опор), изящно демонстрирует идеальный диамагнетизм сверхпроводников.

Почему же магнит не падает на поверхность свинца? При

падении магнита магнитное поле в поверхностном слое площадки, на которую он падает, изменяется. А как известно, при изменении магнитного поля в любом проводнике (в том числе и сверхпроводнике) наводятся вихревые токи (токи Фуко). Обычно эти токи быстро гасятся за счет электрического сопротивления материала. Сверхпроводник обладает нулевым сопротивлением, и поэтому наведенные токи могут циркулировать в нем бесконечно долго. Эти вихревые токи создают магнитное поле, препятствующее проникновению внешнего поля внутрь проводника. Диамагнетизм сверхпроводников — это поверхностный эффект, распространяющийся на глубину порядка 0,001 миллиметра. Поверхность сверхпроводника превращается в своеобразное «магнитное зеркало», отражающее силовые линии внешнего магнитного поля. Можно считать, что и оригинал — падающий магнит и отражение его в «магнитном зеркале» обладают абсолютно идентичными магнитными полями. Под тем местом, где у оригинала находится северный полюс, возникает отражение северного полюса. Эти полюса отталкиваются до тех пор, пока не устанавливается равновесие: сила отталкивания магнита и его изображения становится равной весу магнита.

Принцип «магнитного зеркала» может найти себе многочисленные применения. Например, в электронных микроскопах, где пучок электронов фокусируется магнитным полем, фольга из сверхпроводника позволит до такой степени повысить разрешающую способность микроскопа, что, может быть, станут различимыми отдельные атомы.

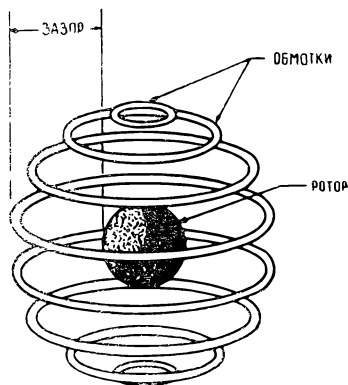
Опыт В. К. Аркадзева может быть несколько видоизменен. Магнитное поле, создаваемое катушкой из сверхпроводящей проволоки, расположенной внизу, может удерживать во взвешенном состоянии ниобиевый диск. Такие опыты в соответствии с несложными подсчетами показывают, что один квадратный сантиметр висящей поверхности в состоянии удерживать груз в 300 граммов. Этим способом уже были подвешены весьма «солидные» предметы — описывался, например, пятикилограммовый свинцовый цилиндр, парящий над сверхпроводящей обмоткой, расположенной снизу.

Возможностью подвесить тело без какого-либо контакта с другим телом сразу же заинтересовались конструкторы гироскопов. Ведь известно, что чем меньше в гироскопе трение (а оно неизбежно при контакте неподвижных и подвижных деталей), тем точнее направление оси гироскопа сохраняет свое положение в пространстве. Вообще говоря, и при магнитной

подвеске трение сохранится — оно будет существовать между вращающимся элементом гироскопа и газообразным гелием, всегда находящимся в криостате. Вакуумируя пространство над жидким гелием с целью снижения трения, мы приведем к быстрому вскипанию гелия. Нужно отметить, однако, принципиальную возможность снижения температуры и давления до лямбда — точки гелия, где он переходит в модификацию гелий-II, обладающую сверхтекучестью, то есть почти полным отсутствием вязкости и, следовательно, трения.

Первые сверхпроводниковые гироскопы уже построены и испытаны. Трение в них меньше, чем во всех других известных типах гироскопов.

Принцип «магнитного зеркала» может быть использован и для изготовления подшипников без трения, которые позволяют валу парить в вакууме без какого-либо контакта с опорой. Многочисленные модели таких подшипников уже были построены и испытаны. В этом отношении представляют интерес электрические машины, сделанные в одной из американских лабораторий, в которых не только подшипники работают на принципе «магнитного зеркала», но и само электромагнитное взаимодействие статора и ротора осуществляется на этом принципе. Если ротор выполнить в виде полого стаканчика из сверхпроводника, поставить этот стаканчик вверх дном и ввести внутрь стаканчика магнитик, стаканчик «всплывает» на магнитных линиях. Вставим теперь этот стаканчик в статор трехфазной электрической машины. Как известно, вращающееся магнитное поле такого статора можно эквивалентно заменить двумя вращающимися по окружности статора магнитиками, расположенными по одной оси. Каждый из этих магнитиков «отталкивает» от себя ротор. За счет такого отталкивания, естественно, никакого вращающегося момента не создается, поскольку направление силы отталкивания лежит через ось вращения стаканчика. Если же стаканчик сделать не круглым, а, например, шестиугольным, возникнет вращающий момент, вызывающий вращение стаканчика со скоростью вращающегося поля — с увеличением частоты питающего тока скорость вращения возрастает.



Простейший сверхпроводниковый гироскоп.

В лаборатории фирмы «Дженерал Электрик» была построена модель двигателя, работающего на этом принципе; скорость вращения его достигала 20 000 об/мин и ограничивалась этой цифрой лишь потому, что при большей скорости ниобиевый стаканчик мог бы быть разорван центробежными усилиями. Угловой момент ротора (весом 26 г) составлял при 20 000 об/мин весьма солидную для него величину, соответствующую мощности 10 ватт. В этой машине для создания вращающегося поля использовались бегущие по статору импульсы постоянного тока или сдвинутые на некоторый угол напряжения в двух фазах.

Недостатком электрических машин подобной конструкции является сложность их механического сопряжения с устройствами, находящимися при нормальной температуре. Вал, связывающий двигатель (работающий при 4,2°K) с устройством, находящимся при комнатной температуре (300°K), вызвал бы труднопреодолимое вскипание гелия за счет теплопередачи через этот вал. Поэтому область применения подобных машин в настоящее время узка. Это — привод низкотемпературных устройств, насосов, а также высокоточных гироскопов, описывающихся выше.

Мы только что говорили о небольших сверхпроводящих магнитах, с помощью «отражения» которых в сверхпроводящих пластинах можно осуществить несколько очень интересных идей, в том числе магнитную подвеску.

Однако сверхпроводящие магниты нашли свое истинное «призвание» в крупных установках, в которых необходимо создавать сильное магнитное поле в значительном рабочем объеме. О них мы поговорим ниже.

В последнее время много говорят о магнитогидродинамических генераторах.

А сколько лет магнитогидродинамическим генераторам?

Одни скажут: «Два», другие: «Пять!», а некоторые: «Двадцать!» На самом же деле магнитогидродинамическим, или МГД-генераторам многие тысячи лет. Они существуют, во всяком случае, с тех пор как Земля обзавелась магнитным полем.

Первым человеком, который это понял, был Майкл Фарадей.

Кокни, спешившие на работу через один из лондонских мостов осенним днем 1831 года, могли видеть, как мужчина лет сорока погружал в воду Темзы две металлические пластинки, подсоединенные к какому-то прибору. Мужчина хмурился и что-то раздраженно говорил своим помощникам.

Кокни, может быть, и не подозревали, что на их глазах проводился один из неудачных опытов великого Фарадея. Что же хотел замерить профессор Фарадей?

Он рассуждал так: река Темза течет с запада на восток; часть силовых линий магнитного поля Земли проходит сверху вниз; в воде всегда растворены какие-нибудь соли, делающие воду проводником электричества. Очевидно, всегда можно найти такие струи воды, движущиеся в магнитном поле Земли, которые можно уподобить проводникам, пересекающим магнитное поле. На концах таких проводников, как известно, должна возникать разность электрических потенциалов.

Фарадей решил завершить этот гигантский эксперимент, поставленный природой. К сожалению, приборы Фарадея не обладали достаточной чувствительностью для того, чтобы замерить напряжение этого природного МГД-генератора. Эксперимент был неудачным. Тем не менее 1831 год можно с полным основанием назвать годом рождения МГД-генераторов. Точнее — годом открытия его человеком.

К сожалению, этот генератор не работал. Но что за чудо? Через несколько лет лорд Кельвин в точности повторяет опыт Фарадея и получает небольшую электродвижущую силу. В чем дело? Казалось бы, все осталось, как у Фарадея, — те же пластины, та же река, те же приборы. Разве что место не совсем то. Кельвин построил свой генератор ниже по Темзе, там, где ее воды смешиваются со свинцовой соленой водой пролива...

Вот она, разгадка! Вода ниже по течению оказалась более соленой и, следовательно, обладала большей проводимостью! Это сразу же было зарегистрировано приборами.

Увеличить мощность магнитогидродинамического генератора можно было бы и другим способом — увеличивая магнитное поле.

Оказалось, что мощность магнитогидродинамического генератора прямо пропорциональна квадрату напряженности магнитного поля.

Однако ни Фарадей, ни Кельвин не могли этим воспользоваться — напряженность земного магнитного поля для данной местности постоянна и составляет примерно пол-эрстеда.

Принцип современных МГД-генераторов остался тем же: в проводящей среде, движущейся между полюсами магнита, наводится электродвижущая сила. Но в качестве проводящей среды в современных МГД-генераторах используется не подсо-



ленная речная вода, а четвертое состояние вещества — плазма с температурой 1500—2500°C.

Сейчас проблема прямого преобразования тепловой энергии в электрическую, минуя механическую (турбина в обычном турбоагрегате), МГД-методом поставлена в ряд важнейших. Это и понятно: коэффициент полезного действия МГД-электростанций может достигать 70%, в то время как к.п.д. обычной тепловой электростанции принципиально не может превышать 40%. Это означает, что при том же расходе топлива можно будет получать почти в два раза больше электроэнергии!

Совсем недавно мир узнал о пуске первой советской энергетической установки с МГД-генератором. В установке, названной «У-02», находящейся в центре Москвы, за кинотеатром «Ударник», впервые в Советском Союзе была получена из загадочной плазмы столь привычная для нас электрическая энергия. А через пару лет вступит в строй МГД-установка «У-25». Ее мощность будет уже 25 000 киловатт — мощность, достаточная для целого города.

И это было бы так, если бы не одно обстоятельство — чтобы генератор был экономичным и небольшим по размерам, нужно увеличивать напряженность магнитного поля магнита. При 50 000 эрстед мощность фарадеевского генератора возросла бы в  $\left(\frac{50000}{0,5}\right)^2 = 10^{10}$  раз, то есть в десять миллиардов раз! Однако получить магнитное поле напряженностью 50 000 эрстед не так-то просто. Нужно затрачивать мощность, причем очень значительную. Вот и получается, что на самом деле к.п.д. МГД-электростанции будет значительно ниже за счет того, что сам МГД-генератор потребляет некоторую мощность на питание магнита, создающего необходимое для работы магнитное поле. Расчеты показывают, что для МГД-электростанций мощностью 25 000 киловатт мощность, потребляемая магнитом без сердечника, составляет 20 000 киловатт. Мощность, потребляемая магнитом с сердечником, будет ниже, но затраты материалов возрастут до 150 килограммов на киловатт против 1—5 килограммов на киловатт у обычных турбогенераторов.

Мощность, потребляемая электромагнитом МГД-электростанции мощностью 500 000 киловатт, составит примерно 60 000 киловатт. Такое большое потребление энергии на собственные нужды неприемлемо. По-видимому, МГД-генераторы станут экономичны только тогда, когда их магнитные системы будут сверхпроводниковыми.

Можно ли использовать сверхпроводники, работающие обыч-

но при  $4,2^{\circ}\text{K}$ , в устройстве с раскаленным газом, имеющим температуру  $2500^{\circ}\text{K}$ ? Реально ли это?

Вполне. Современные типы изоляции позволяют разделять  $2500^{\circ}\text{K}$  и  $4^{\circ}\text{K}$  стенкой толщиной всего 1,5—2 сантиметра.

Представим себе теперь, как могла бы выглядеть сверхпроводящая магнитная система МГД-генератора. Две сверхпроводящие обмотки располагаются по бокам канала с плазмой, отделенного от обмоток многослойной тепловой изоляцией. Обмотки закреплены в титановых кассетах, и между ними поставлены титановые распорки. Кстати сказать, эти кассеты и распорки должны быть чрезвычайно прочными, так как электродинамические силы в обмотках с током стремятся разорвать их и притянуть друг к другу. Эти силы довольно велики — например, в поле 50 000 эрстед элементы конструкции будут находиться под давлением 100 атмосфер.

Поскольку в сверхпроводящей обмотке тепла не выделяется, рефрижератор, который потребуется для работы сверхпроводящей магнитной системы, должен будет отводить лишь то тепло, которое поступает в криостат с жидким гелием через тепловую изоляцию криостата и токоподводы. Потери за счет токоподводов можно свести практически к нулю, если использовать короткозамкнутые сверхпроводящие катушки, питаемые с помощью сверхпроводящего трансформатора постоянного тока.

Гелиевый ожижитель, который будет восполнять потери гелия, испаряющегося за счет теплопритоков через изоляцию, должен по расчетам вырабатывать в час 5—10 литров жидкого гелия. Такие ожижители выпускаются промышленностью и занимают комнату средних размеров.

В конце 1962 года американские ученые, наблюдавшие за своим спутником «Ариэль», внезапно заметили, что все признаки, говорившие о его существовании, вдруг пропали, когда он проходил через определенную область орбиты.

Через несколько дней спутник «Транзит-IV», проходя через ту же область орбиты, прервал передачи, как говорится, на полуслове.

Еще через несколько дней такая же участь постигла спутник Трейк.

При расследовании причин всех этих загадочных космических аварий выяснилось следующее.

В результате взрыва американского ядерного устройства «Старфш» мощностью в полторы мегатонны на высоте 400 километров над островом Джонстона 9 июля 1962 года возник искусственный радиационный пояс, представляющий серьезную

угрозу для космонавтов, совершающих орбитальные полеты вокруг Земли. В сердцевине пояса часовая доза радиации в 500 раз превышает смертельную дозу для человека. Мощные потоки электронов, возникшие при этом ядерном взрыве, вызывают порчу электронных систем искусственных спутников. Исследования с помощью «пластинавтов» (то есть манекенов космонавтов из пластмассы, имитирующей человеческую ткань), в теле которых запрятаны дозиметрические приборы для измерения интенсивности излучения в области мозга, сердца, легких и других органов космонавта, показали, что этот пояс представляет смертельную опасность для космонавтов.

На высоте полутора тысяч километров над земной поверхностью начинаются естественные радиационные пояса Земли. Протоны этих поясов обладают колоссальными энергиями (порядка сотен миллионов электрон-вольт) и при достаточной длительности полета могут угрожать здоровью членов экипажа космического корабля и исправности приборов, поскольку интенсивность излучения превышает здесь земные нормы более чем в 20 000 раз.

Однако и после того как радиационные пояса будут пройдены, космонавты, путешествие которых будет длиться месяцами, не смогут чувствовать себя в безопасности главным образом из-за хромосферных вспышек Солнца, во время которых в громадных количествах генерируются протоны с энергиями выше 100 миллионов электрон-вольт. В годы повышенной солнечной активности (цикл активности Солнца составляет 11 лет) на Солнце наблюдается более 3000 вспышек. 15% этих вспышек — грандиозного масштаба. Сейчас считают, что во время каждой вспышки Солнце посылает потоки плазмы в каком-то направлении. Примерно 4% этих потоков достигает орбиты Земли. Кроме обычных вспышек, на Солнце раз в три месяца происходят грандиозные релятивистские вспышки, во время которых выбрасываются мощные потоки протонов с энергией в несколько миллиардов электрон-вольт.

Плотность частиц на орбите Земли составляет примерно  $10^8$  частиц на кубический сантиметр. Эти частицы в большинстве своем не достигают поверхности Земли, поскольку она экранирована магнитным полем. Любая заряженная частица, попав в это магнитное поле, искривляет свою траекторию и как бы навивается на магнитные силовые линии. Вследствие этого заряженные частицы начинают вращаться вокруг Земли.

Было бы очень заманчиво осуществить такой же метод защиты и на космическом корабле. В принципе построить

магнит обычной конструкции с диаметром рабочей зоны, равной диаметру корабля, можно. Однако для обслуживания обычного медного соленоида таких размеров потребуется везти на борту солидную электростанцию, насосное хозяйство. Отвод тепла от магнита будет очень сложной проблемой из-за низкой теплопроводности космической среды. Ясно, что обычные электромагниты для защиты от радиации в космосе неприменимы.

Сверхпроводящие системы защиты от радиации обладают ценными свойствами. Изготовление сверхпроводящего соленоида больших размеров возможно уже в настоящее время. Несмотря на большую стоимость, определяемую в основном стоимостью сверхпроводника (1 килограмм сплава ниобия с цирконием стоит 1000 долларов), сверхпроводящий экран имеет большие преимущества перед другими типами экранов, так как он будет мало весить и потреблять ничтожную мощность на охлаждение (в условиях космического холода требования к холодильным установкам резко снижаются, поскольку теплоприток извне за счет низкой температуры межпланетной среды — несколько градусов выше абсолютного нуля — очень мал). Теплоприток будет велик лишь с той стороны криостата, которая нагревается солнечными лучами. Чтобы в криостате не происходило напрасного испарения жидкого гелия за счет солнечного тепла, сейчас разрабатываются космические «зонтики», отражающие солнечные лучи и не дающие кораблю нагреваться. Эти «зонтики» надуваются гелием и растягиваются на специальных рамах: «зонтики» изготавлиются из многослойного майлара, покрытого алюминиевой пленкой.

В качестве конструкционного оформления сверхпроводящей обмотки предложены: полый торойд (Леви), многовитковый соленоид (Браун), несколько тороидальных соленоидов (Дау). Пока идет спор о лучшей конструкции, в лаборатории фирмы «Локхид» изготовлен многовитковый сверхпроводящий соленоид тороидального типа диаметром 1,8 метра для защиты орбитальных космических кораблей. Этот соленоид, созданный с целью исследования эффективности сверхпроводниковой защиты, может защищать от частиц с энергией в сотни миллионов электрон-вольт объем в несколько кубических метров.

Этот соленоид, один из крупнейших в мире, создает на внутренней поверхности катушки поле в 15 000 эрстед. Вес соленоида вместе с криостатом и системой охлаждения 85 килограммов. Охлаждение системы обеспечивается запасом жидкого гелия, достаточным для ее работы в условиях невесомости в течение 5—10 дней. В земных условиях, а также на участке вывода на

орбиту время работы системы уменьшается за счет того, что многослойная теплоизоляция криостата сдавливается под действием веса обмотки и ее тепловое сопротивление снижается. Этот наиболее крупный (по диаметру) из построенных сверхпроводящих соленоидов имеет поле в центре, равное 1000 эрстед.

При расчете защитной системы используется понятие о так называемом стормеровском радиусе. Он введен физиком Стормером при исследовании им природы полярных сияний. Стормеровский радиус определяет размеры зоны, в которую не попадает ни одна заряженная частица с данной энергией.

Для того чтобы эффективно защищать объем 144 кубических метра от протонов с энергией ниже 1 миллиарда электрон-вольт при стормеровском радиусе 10 метров, необходимо, чтобы полный вес системы составлял около 150 тонн. Сюда входит вес несущей конструкции, сверхпроводящей обмотки и криогенного оборудования.

Более 9/10 веса магнитного экрана занимает вес несущей конструкции, служащей для предотвращения разрыва соленоида от электродинамических усилий. Эти усилия весьма велики — в поле 500 эрстед магнитное давление составляет 1 атмосферу, а при 100 000 эрстед — 400 атмосфер.

Другие варианты экранов, например алюминиевый щит, гораздо тяжелее (более чем в три раза) и обладают тем недостатком, что в них при бомбардировке частицами высоких энергий могут образовываться вторичные нейтроны, которые вносят существенный вклад в результирующую радиацию за массивным экраном и стенками корабля. И видимо, значительно менее надежной будет индивидуальная защита от радиации, представляющая собой двойные скафандры, пространство между которыми заполняется питьевой водой, задерживающей частицы.

Тяга, развиваемая современными ракетными двигателями, измеряется тысячами тонн. У крупнейшей американской ракеты «Сагурн-V», которую американцы намереваются использовать для полета на Луну, тяга составляет 3 400 000 килограммов. Такая тяга позволит ракете преодолевать силы земного притяжения (или притяжения других планет). Однако тогда, когда ракета выходит из сферы действия сильных гравитационных полей, такая тяга уже не нужна. Здесь, поскольку сопротивление среды ничтожно, можно использовать для ускорения ракеты гораздо меньшую тягу двигателя, скажем в несколько граммов.

Оборудование ракеты двигателем с такой тягой позволило бы сократить стартовый вес ракеты примерно в 10 раз.

Впервые такие плазменные двигатели были использованы на советской межпланетной станции «Зонд-2». Называются они магнитогидродинамическими. Недаром слово «магнит» поставлено в этом термине на первом месте. Все то, что сказано о сверхпроводящих соленоидах системы защиты от радиации, в полной мере применимо к магнитам МГД-двигателей. Только сверхпроводящий магнит даст возможность сделать МГД-двигатели мощными, легкими и экономичными.

В путешествии к звездам скорости МГД-двигателей, да и любых других известных сейчас двигателей окажутся, по-видимому, недостаточными. Кому интересно провести жизнь на космическом корабле и знать, например, что пройдена лишь десятая часть пути? Да и пославшим такой корабль людям тысячелетнее ожидание может показаться несколько утомительным. Идея «фотонной» ракеты, летящей со скоростью, близкой к скорости света, и использование «парадокса времени», при котором год, проведенный людьми на ракете, будет соответствовать, скажем, ста годам землян, является, по-видимому, единственным выходом из положения для будущих путешественников к другим звездным мирам.

Немецкий физик Зенгер так представляет себе фотонную ракету: в ракете непрерывно создаются атомные частицы двух видов — электроны и позитроны. Как известно, позитрон является по отношению к электрону античастицей. При соприкосновении частицы и античастицы происходит взрыв, во время которого излучаются кванты света — фотоны. Отражаясь от специального зеркала, конструкция которого пока неизвестна, фотоны сообщают ракете околосветовую скорость.

Вопрос не только в конструкции зеркала. Как подать к зеркалу античастицы? Ведь любой канал будет материален, то есть сделан из обычных частиц. При транспортировке античастиц по каналу вещество канала и антивещество — позитроны придут во взаимодействие. Взрыв произойдет раньше времени!

Вот если бы удалось сделать какие-нибудь «невещественные» стенки! Тогда позитроны смогли бы беспрепятственно добраться до зеркала. Не из вещества. Может быть, из поля? Что ж, «стенки» из магнитного поля вполне осуществимы — и частицы, и античастицы «закручиваются» в магнитном поле, только в разные стороны. Следовательно, с помощью магнитных полей можно заставлять частицу двигаться в нужном направлении, не касаясь каких-либо предметов, сделанных из вещества. Самый дешевый

и эффективный способ создания сильных магнитных полей — это использовать сверхпроводящие соленоиды. Сверхпроводящие соленоиды дадут возможность создать поля заданной однородности или, наоборот, неоднородности с одинаковой легкостью, и поэтому они, по всей видимости, будут широко применяться и в этой пока еще далекой от реализации, но очень важной и интересной области.

Важнейшей частью системы автоматического управления полетом космического корабля является гироскоп — прибор, в большинстве случаев состоящий из быстро вращающегося диска, насаженного на ось. Как бы ни изменилось положение космического корабля в пространстве, направление оси гироскопа не изменится. Говоря более строго, положение оси гироскопа в пространстве было бы абсолютно неизменяемым лишь в том случае, если бы в гироскопе не было трения. Наличие трения приводит к определенным погрешностям в прокладке курса корабля. Вследствие этого конструкторы всеми силами стремятся снизить трение в опорах гироскопа. В гироскопе на «магнитной подушке», основанном на идеальных диамагнитных свойствах сверхпроводников, существует реальная возможность значительно снизить трение и увеличить точность.

Большой трудностью, которая возникает при постройке сверхпроводящих гироскопов, является необходимость крайне тщательно обрабатывать вращающийся сверхпроводящий шар, так как в противном случае дефекты поверхности сферы будут «захватывать» магнитный поток и вызывать дрейф нуля.

Хорошо известно, что вес (точнее масса) межпланетных станций мог бы быть значительно снижен, если бы удалось использовать при входе в атмосферы планет трение об эту атмосферу для гашения скорости. Корабль, входящий в атмосферу без торможения, сильно накалится за счет трения и разогрева атмосферы в скачке уплотнения потока. Чем больше скорость корабля, тем сильнее он разогревается.

Уменьшить разогрев корабля при входе в атмосферу планет можно с помощью магнитогидродинамических устройств. Однако МГД-устройства эффективны лишь тогда, когда температуры газов очень велики. При большой скорости корабля электропроводность плазмы за скачком уплотнения возрастает настолько, что она уже может быть использована в качестве рабочего тела МГД-устройства.

Если приложить к этой плазме магнитное поле, то плазма и корабль будут тормозиться друг относительно друга, причем

потоку оказывают сопротивление не столько лобовые поверхности, сколько магнитные силы. Подбирая особым образом степень взаимодействия плазмы и магнитного поля, можно добиться полного отрыва потока от тела. Это означает, что давление потока и теплопередача к телу полностью исчезают. В этих условиях силы торможения проявляются только в обмотке, создающей магнитное поле. Поскольку область, в которой можно создать магнитное поле, является довольно большой, эффективное сечение торможения тела сильно возрастает.

Таким образом, с помощью магнитной аэродинамики такого типа можно добиться более эффективного торможения, не разогревая в то же время сам корабль. Ценным является и то, что торможение можно начинать с более разреженных слоев атмосферы.

Хотя вход в атмосферу продолжается всего несколько минут, выгода использования при торможении сверхпроводников очевидна, поскольку источник мощности, необходимой для поддержания магнитного поля даже в течение этого малого времени, существенно утяжеляет корабль, а потребление электроэнергии сверхпроводящими обмотками на несколько порядков ниже, чем у обычных обмоток.

Все возрастающее число задач как космического, так и земного характера требует сейчас такой мгновенной мощности, которую можно получить лишь путем ее постепенного накопления. Сейчас для этой цели используются чаще всего батареи конденсаторов и... динамит. Динамит, однако, может быть использован лишь там, где необходима кратковременная механическая мощность; во всех других случаях применяют конденсаторные батареи. Но батареи конденсаторов на значительную энергию очень велики по габаритам и в ряде устройств, для которых вес является решающим фактором, не могут быть применены.

Как показали исследования, наиболее подходящими для замены конденсаторов могут быть индуктивные катушки без сердечника, в которых также может запастись очень большая энергия. В то время как в батарее конденсаторов плотность запасенной энергии составляет 0,4 мегаджоуля в кубическом метре, в индуктивных катушках эта величина больше в 100 раз. Преимущества индуктивных катушек увеличиваются с ростом запасаемой мощности.

Основной проблемой, возникающей при хранении энергии в магнитном поле, является потеря энергии в электрическом сопротивлении катушек. Так, при хранении миллиона джоулей



в поле 100 килоэрстед в медной обмотке, охлаждаемой водой, будет теряться мощность 1000 киловатт. Это явно нераационально.

Экономичность хранения энергии в магнитном поле сильно возрастает при использовании сверхпроводящих обмоток. Отсутствии у сверхпроводников электрического сопротивления означает, что сверхпроводящая катушка может быть медленно заряжена от источника электроэнергии небольшой мощности. Потери, вызванные джоулевым нагреванием обмоток, полностью исчезают. Можно создать и короткозамкнутую сверхпроводящую цепь, в которой энергия сохраняется бесконечно долго. Уже сейчас испытаны сверхпроводящие магнитные «склады» энергии емкостью 2000 джоулей со скоростью разряда 0,001 секунды.

Сравнивая вес, приходящийся в таких системах на миллион джоулей запасенной энергии (вес катушки определяется в основном весом элементов, удерживающих ее от разрыва), с тем же параметром для динамита (0,24 килограмма на миллион джоулей), можно увидеть любопытную вещь: магнитный «склад» энергии всего лишь в 10 раз уступает динамиту по взрывчатой силе. Однако не в пример динамиту энергия, сохраняемая в магнитном поле, несравненно более удобна — она в любой момент может быть преобразована в электрическую, а из нее в световую, механическую, тепловую и т. д. Кроме того, скоростью высвобождения магнитной энергии можно управлять.

Все эти качества магнитных «складов» энергии обеспечат им широкое применение, в частности для питания импульсных ламп, «зажигающих» лазеры. Особенно привлекательны перспективы использования магнитных «складов» в космосе, где вакуумная среда может быть использована для теплоизоляции и где можно при соответствующем экранировании поддерживать низкие температуры, используя маломощное холодильное оборудование.

То обстоятельство, что сверхпроводниковые хранилища энергии — это устройства с сильными токами и небольшими напряжениями, также представляет большое преимущество в космосе, поскольку большинство преобразователей энергии космических кораблей — также низковольтные устройства. Это позволяет непосредственно подсоединять источник энергии к хранилищу.

Перечисленными выше устройствами, конечно, не исчерпываются возможности использования сверхпроводников в космической технике. Существуют, например, проекты соединения

кораблей в космосе с помощью сверхпроводящих магнитов, проекты космических «цехов», где можно будет с помощью сверхпроводников обрабатывать металлы, проекты постройки в недрах Луны электрической распределительной сети, целиком составленной из сверхпроводящих элементов. Нужно, однако, отметить, что все эти проекты находятся пока еще в стадии предварительного изучения.

Особенно интересны перспективы применения магнитов, как сверхпроводящих, так и обычных, связанные с проблемой невесомости. Известно, что для создания ускорения, отличного от нулевого, в космосе достаточно самого слабого усилия. Притяжения сильного магнита хватит для того, чтобы направить, например, аэробуксир к орбитальной космической лаборатории; изменяя ток в обмотке магнита и меняя его направление, можно добиться довольно удобного регулирования скорости и мягкого «причаливания».

Среди интенсивно разрабатывающихся проблем — проблема ориентации в условиях невесомости на космическом корабле.

Наиболее простым методом создания искусственной тяжести служит использование магнитной обуви, то есть обуви, в которой размещен небольшой магнит, притягивающийся к стальным элементам корабля или орбитальной космической лаборатории.

Благодаря такому приспособлению космонавт может легко привязаться к любой поверхности корабля и при работе с какими-либо инструментами не будет лететь в обратном направлении, повинаясь неумолимому третьему закону Ньютона — действие равно противодействию.

Не исключено, что сверхпроводники окажутся в высшей степени ценными и в этой области, так же как и во многих других. Впереди, конечно, еще много трудностей — много есть работы и для физиков, и для инженеров. Одна из главных трудностей — это необходимость изолировать сверхпроводники в специальных дьюаровских сосудах или криостатах и содержать их при сверхнизкой температуре — температуре кипения жидкого гелия, которая достигается и поддерживается с известными затратами энергии.

К сожалению, жидкий гелий является пока единственным хладагентом, с помощью которого можно было бы получать сверхнизкие температуры. Несмотря на то что ученые не оставляют надежды получить сверхпроводники, не теряющие сверхпроводимости при более высоких температурах, например ком-

натной, пока, к сожалению, исследователям приходится иметь дело с жидким гелием.

До самого последнего времени получение жидкого гелия представляло чрезвычайную техническую проблему. Гелиевые ожижители имелись в ограниченном числе стран и ограниченном числе научных центров.

Сейчас положение в корне изменилось. Многочисленные работы, проведенные в Советском Союзе и за рубежом (здесь следует особо отметить работы советского академика П. Л. Капицы, который изобрел новый высокоэффективный тип гелиевого ожижителя, не требующего предварительного охлаждения гелия другими ожиженными газами), привели к тому, что холодильная техника стала развиваться весьма бурными темпами и создание гелиевых ожижителей встало на промышленные рельсы.

Несколько заводов освоили массовый выпуск ожижителей.

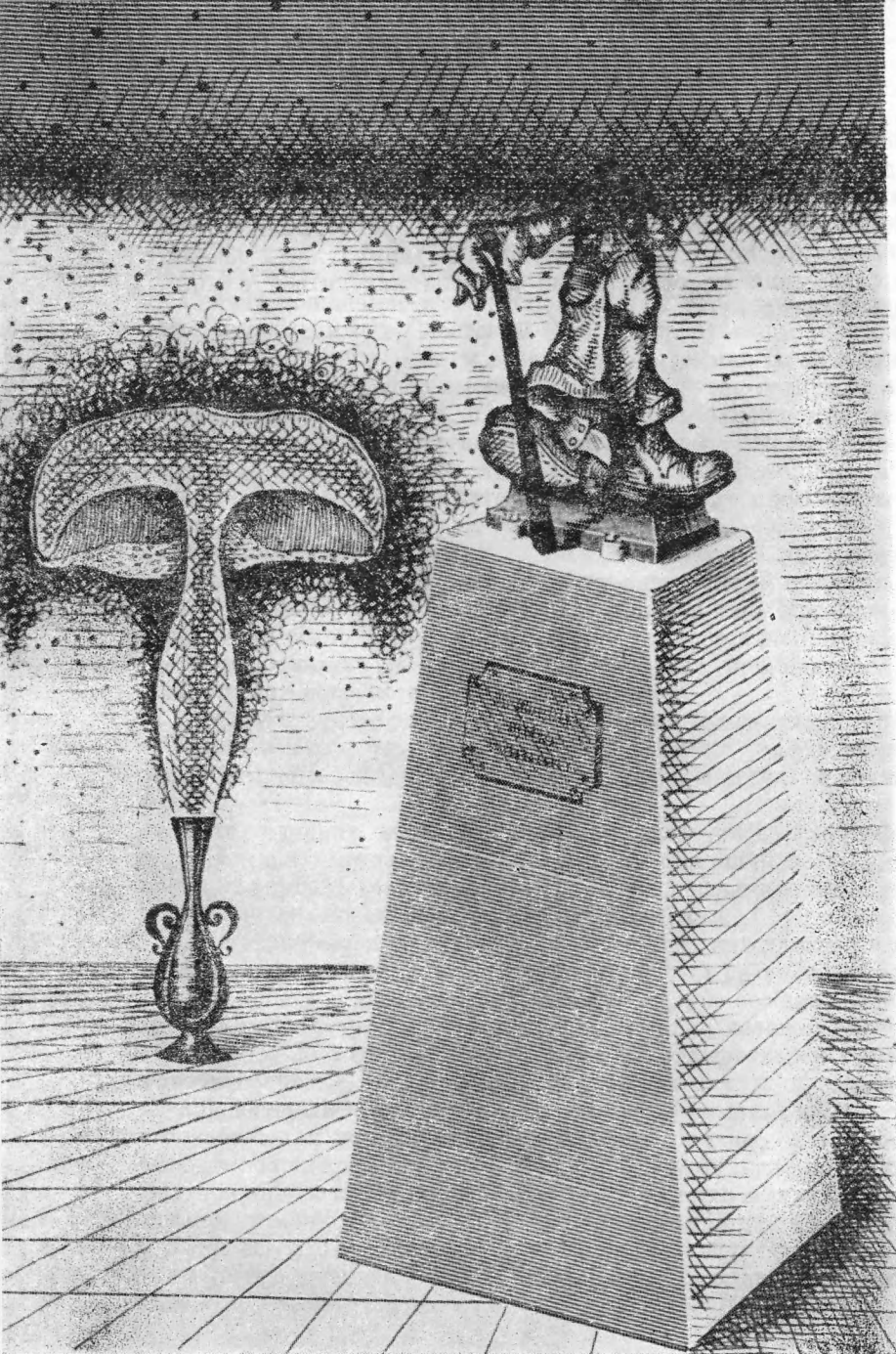
Некоторые заводы освоили выпуск ожижителей с производительностью 100—200 литров жидкого гелия в час. Этого количества гелия было бы уже достаточно для обеспечения работы сверхпроводящих систем возбуждения очень мощных электро-технических устройств.

Говоря о производительности гелиевых ожижителей, следует иметь в виду, что она дается в расчете на то, что жидкий гелий отпускается «навынос» и не возвращается в ожижитель.

В тех случаях, когда используется замкнутый, рефрижераторный цикл, когда отработанный, испарившийся (но еще очень холодный) гелий вновь поступает в рефрижератор, производительность последнего возрастает в 3—7 раз.

Для экспериментов небольшого масштаба и охлаждения специальных устройств (например, космических) разработаны рефрижераторы меньшего масштаба. В литературе сообщалось о создании рефрижератора с замкнутым циклом холодопроизводительностью 25 ватт (в замкнутом цикле это соответствует производительности, равной примерно 12 литрам жидкого гелия в час), который весит всего лишь 36 килограммов. Описана также небольшая установка весом 12 килограммов, обладающая холодопроизводительностью 0,5 ватта. Эта установка потребляет полтора киловатта мощности. Несмотря на свою миниатюрность, установка может, например, быть использована для обеспечения работы сверхпроводниковой электронно-вычислительной машины с пятью тысячами самых маленьких соленоидов — криотронов.

С необходимостью изолировать сверхпроводники в специальных дьюарах с жидким гелием инженеры, привыкшие к «комнатным» температурам, потихоньку начинают свыкаться. Член-корреспондент Академии наук СССР А. А. Абрикосов так суммировал эту мысль: «Для того чтобы честно служить людям, сверхпроводники не обязательно должны находиться с ними под одной крышей».



## ДЖИН В МАГНИТНОЙ БУТЫЛКЕ

Эта глава о том, как ученые, подобно искусным мастерам, ткали невидимый узор ажурного магнитного плаття, даже скорее не плаття, а смирительной рубахи из магнитных полей для непокорной и своенравной плазмы, об установках под неуверенными именами, о твистующих полях, пинчах, «сосисочной» неустойчивости и бубликах, превращенных в восьмерки.

*От солнечных протуберанцев  
дрожат арктические сполохи,  
хрипят и замолкают рации,  
дуреют стрелки и подсолнухи.  
Летят циклоны и бураны,  
врываясь молнией в экраны.  
Как сельдь,  
лиловая и синяя,  
трясется плазма в изолиниях.  
О стенки «Огры» бьется бурно,  
трещит, магнитом печатана.  
Она — костер Джордано Бруно  
и сердце Бора и Курчатова.  
Она трепещет, словно кричит  
в людях расставленном силке,  
и что-то важное лепечет  
на незнакомом языке.*

*«Термояд». Е. Парнов*

Предлагаю построить памятник начальнику. Тому начальнику, который сквозь пальцы смотрел на то, что при его внезапном появлении в конторе один из служащих прятал какую-то постороннюю работу в дальний ящик письменного стола и, придвинув к себе то, чем он должен был бы заниматься на службе, начинал изображать усиленную деятельность. Фамилия этого начальника в анналах науки не сохранилась. Зато фамилия нерадивого работника известна сейчас каждому. Это был Эйнштейн. Открытия Альберта Эйнштейна повлияли не только на научный уровень двадцатого века и его материальное благосостояние, но и в значительной мере определили на много лет вперед политику некоторых государств.

Эйнштейн в большей мере «ответствен» за то, что двадцатый век стал атомным веком и атомная энергия из абстрактного символа превратилась в ревущие грибы атомных взрывов и ося-

заемые громады мирных атомных станций. Реакцию деления урана можно считать хорошо освоенной, и уже сейчас, всего через десять лет после пуска первой в мире атомной электростанции в Обнинске, в печати проскальзывают сообщения о том, что стоимость атомной электроэнергии начинает быть ниже стоимости электроэнергии обычных станций. Казалось бы, дело обстоит благополучно. Запасов радиоактивных элементов, способных к делению, на земле хватит на много лет. Однако человечество уже изучает возможность осуществления атомных реакций другого типа — реакций синтеза.

Почему человечество не уgomонилось? Зачем оно ищет себе работу, если им уже найден прекрасный источник электроэнергии?

Оставляя в стороне извечное любопытство человечества, которое заставляло и будет заставлять его заниматься научными исследованиями, можно назвать две причины:

Во-первых, запасы энергии урана и тория — способных к делению элементов — не безграничны. В то же время воды — топлива для реакции синтеза на земле сколько угодно. Академик И. Е. Тамм писал, что из дейтерия, содержащегося в 1 литре воды, можно получить столько же энергии, сколько из 350 литров бензина. Таким образом, с энергетической точки зрения четыре земных океана равноценны 1400 океанам бензина. Даже при стократном увеличении потребления энергии такого запаса хватит человечеству на миллиарды лет.

Во-вторых, и это очень важно, отходы обычных атомных электростанций радиоактивны. Если бы, например, вся электроэнергия Соединенных Штатов вырабатывалась на атомных электростанциях, то радиоактивность отходов составляла бы колоссальную цифру и была бы эквивалентна радиоактивности двухсот тысяч взорванных атомных бомб. В 2000 году радиоактивность отходов была бы эквивалентна взрыву восьми миллионов атомных бомб в год. В отличие от этого реакции синтеза, или, как их называют, термоядерные реакции, являются «чистыми» в отношении радиоактивного заражения.

Однако овладеть областью управляемых (именно управляемых — ведь водородная бомба, в которой осуществляется термоядерный синтез, — пример неуправляемой реакции) термоядерных реакций оказалось гораздо сложнее, чем это предполагалось вначале. Даже Игорь Васильевич Курчатов, человек, тонко чувствовавший наступающие открытия и говоривший всем вместо приветствия: «Открытия есть? Достижения есть?», быть мо-

жет, был осторожен меньше обычного, назвав вторую половину двадцатого века «веком управляемой термоядерной реакции».

Одной из серьезных трудностей, стоящих перед физиками, является «вытекание» плазмы из «магнитных бутылок», в которых ее содержат. Однако перед тем как к этому перейти, поясним вкратце, что это за «магнитные бутылки» и зачем они нужны.

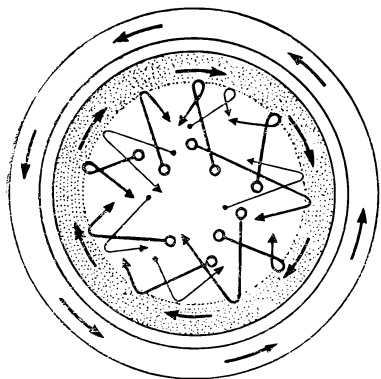
В конечном итоге управляемая термоядерная реакция должна дать человеку электроэнергию, которая обладает тем преимуществом, что с большой эффективностью и легкостью может быть превращена в любые другие виды энергии.

Итак, электроэнергия. Ее можно получить при прирученном термоядерном взрыве за счет кинетической энергии раскаленных газов, за счет энергии световой вспышки и тепловой энергии управляемой реакции.

Для реакции необходимо, чтобы ядра сталкивающихся атомов дейтерия или трития обладали такой большой энергией, что могли бы, преодолев электростатические силы отталкивания, столкнуться и вступить во взаимодействие друг с другом. Это возможно лишь в том случае, когда газ нагрет до температуры в несколько миллионов или миллиардов градусов. При такой температуре вещества могут существовать лишь в форме сильно ионизированного газа или плазмы. Но какой сосуд выдержит столь высокую температуру? Только прикоснувшись к стенкам, плазма, нагретая до миллионов градусов, или охладится до такой температуры, при которой реакция станет невозможной, или же испарит стенку, как испарила стальную башню и песок при термоядерном взрыве на Бикини. Никакой материал не может выдержать таких высоких температур, и поэтому вопрос «В чем держать плазму?» в 50-х годах встал на повестку дня.

Физики Советского Союза, Соединенных Штатов и Англии — государств, являвшихся в то время «атомной тройкой», отделенные друг от друга высокими барьерами секретности, примерно в одно время начали работать над этой проблемой. Когда впоследствии, по инициативе Советского правительства, барьеры секретности были сняты, выяснилось, что физики трех разных стран пришли к одному выводу: единственной «одеждой», которая не дает плазме охладиться, будет магнитное поле. Невидимое, неосязаемое, оно упругой паутиной своих силовых линий будет держать плазму подальше от стенок, которые она могла бы испепелить. Плазму нужно одеть в невидимую одежду. Совсем как в «Новом платье короля» у Андерсена.





Принцип удержания плазмы магнитным полем. Заряженные частицы движутся в магнитном поле по спирали, как бы навивающейся на магнитные силовые линии.

Идея магнитной термоизоляции плазмы основана на известном свойстве электрически заряженных частиц, движущихся в магнитном поле, искривлять свою траекторию и двигаться по спирали вдоль силовых линий поля. Это искривление траектории в неоднородном магнитном поле приводит к тому, что частица выталкивается в область, где магнитное поле более слабое. Задача состоит в том, чтобы плазму со всех сторон окружало более сильное поле. Эта задача с переменным успехом решается во многих лабораториях мира.

Почему «с переменным успехом»? Дело в том, что, как шутят физики, «пока преодолевается один вид неустойчивости плазмы, открывают три других». Однако, по-видимому, никакой сакраментальности в этом нет. «Не существует доказательств универсальной неустойчивости плазмы, заключенной в магнитном поле», — считает академик Л. А. Арцимович. И ученые продолжают усилия, кропотливо, шаг за шагом медленно и методично борются, как с лорнейской многоголовой гидрой, с различными открытыми раньше и совсем недавно неустойчивостями.

Выталкивание частиц (плазма, как мы уже говорили, представляет собой множество заряженных частиц — положительно заряженные атомы, лишенные своих отрицательных электронных оболочек, и отдельно — отрицательные электронные оболочки без атомов) в область, где магнитное поле более слабое, играло и продолжает играть злые шутки с физиками. Из-за этого выталкивания оказались сравнительно малоэффективными первые термоядерные устройства, основанные на «пинч-эффекте».

Поясним, что это означает. Если в плазме есть какое-то упорядоченное движение заряженных частиц в одну сторону, то это означает, что плазма представляет собой гибкий шнур с электрическим током, так как, по определению, электрический ток — это и есть упорядоченное движение заряженных частиц.

Каждый ток создает вокруг себя магнитное поле, силовые линии которого опоясывают провод, по которому этот ток проходит. Одним из важных свойств силовых линий является присущее им стремление идти по кратчайшему пути, их упругость, максвеллово натяжение, приводящее к тому, что силовые линии стремятся сжать опоясываемый ими проводник с током. В случае нормальных медных проводов упругость силовых линий не может привести к уменьшению диаметра провода, поскольку кристаллическая решетка твердых тел является мощным «скелетом», деформировать который довольно трудно. Если же ток течет по плазменному шнуру, то упругость силовых линий, охватывающих этот шнур, приводит к тому, что шнур уменьшается в сечении и отходит от стенок камеры. Это явление, получившее название «пинч-эффекта», казалось бы, полностью решает задачу магнитной термонизляции плазмы. Можно подумать, что стоит «организовать» в плазме ток, как она сама отойдет от его стенок и сожмется в тонкий шнур в середине сосуда.

Однако здесь начинает действовать свойство заряженных частиц и, следовательно, плазмы в целом выталкиваться в область с более слабым полем, туда, где меньше силовых линий, где они расположены не так густо. Это свойство приводит к тому, что малейшая неидеальность — изгиб или местное сужение плазменного шнура — в конце концов ведет к аварийному процессу. Пусть, например, в шнуре образовался в силу каких-либо случайных обстоятельств небольшой изгиб. На выпуклой части изогнутого шнура силовые линии магнитного поля становятся более редкими, а на вогнутой — более густыми. Плазменный шнур начинает выталкиваться из той области, где силовые линии расположены гуще, наружу. Это приводит к тому, что изгиб плазменного шнура начинает увеличиваться и плазма в конце концов попадает на стенки камеры. Это происходит точно таким же образом, как в сжатой длинной пружине, которая, как известно, неустойчива к поперечным деформациям.

Точно так же местное сужение плазменного шнура приводит в конце концов к его еще большему сужению (так называемой «сосисочной» неустойчивости плазмы), а впоследствии — к разрыву.

Бороться с этими явлениями можно с помощью магнитного поля. Если вдоль плазменного шнура проходят силовые линии магнитного поля, создаваемого каким-то посторонним источником, то упругость этих линий будет приводить к тому, что любой изгиб, случайно возникший у шнура, так же как и случайное

сужение шнура, будет стремиться рассосаться. Происходит примерно то же самое, что и в том случае, если внутри пружины пропустить растянутые упругие жгуты.

Для того чтобы это происходило более эффективно, необходимо создать в плазме очень сильное продольное магнитное поле.

Другим эффективным способом преодоления изгибов плазменного шнура, особенно изгибов с большим радиусом, может служить использование для этой цели более или менее массивного металлического кожуха, сосуда, в котором содержится плазма. Между кожухом и плазменным шнуром проходит какой-то магнитный поток, то есть существует магнитное поле с его условными силовыми линиями. Если плазменный шнур сместится со своего прежнего положения, магнитное поле между ним и кожухом исказится, деформируется. В одном месте силовые линии будут сдавлены, в другом — растянуты. Если опять для наглядности придать магнитным силовым линиям свойство упругости, то станет ясно, что плазменный шнур будет возвращаться полем в прежнее положение в центре камеры.

Стабилизация плазмы продольным полем становится особенно эффективной в том случае, если удастся сделать так, чтобы продольное поле существовало бы лишь в плазме, а вне ее, то есть в пространстве между стенками камеры и шнуром, отсутствовало. Это можно сделать в том случае, если сжимающийся при прохождении сильного тока плазменный шнур увлекает с собой все силовые линии продольного поля, созданного в полном объеме камеры. Отрываясь от стенок камеры, плазменный шнур захватывает с собой все магнитные силовые линии, ранее существовавшие в камере, создавая, таким образом, между стенками камеры и шнуром «магнитный вакуум» в отношении продольного поля.

Все эти идеи начали практически испытываться лишь в 50-х годах. Правда и раньше, в конце войны, насколько можно судить, проводились секретные эксперименты по магнитному удержанию плазмы. Эти эксперименты были направлены на военные цели и руководили ими в Америке Энрико Ферми и Эдвард Теллер, создатели первых американских атомных бомб.

Интенсивные работы по управляемому термоядерному синтезу начались, как уже говорилось, почти одновременно в Советском Союзе, Соединенных Штатах и Англии. Первые установки представляли собой стеклянные, фарфоровые или кварцевые тороидальные камеры (впоследствии камеры чаще всего делались из тонкой нержавеющей немагнитной стали), внутри

которых размещались рабочие камеры с медными толстыми стенками, иногда называемые лайнерами. На камере наматывается обмотка, создающая продольное стабилизирующее магнитное поле напряженностью примерно 500 эрстед. Внутренняя тороидальная камера заполняется газом. Этот кольцевой газовый виток является вторичной обмоткой трансформатора. Первичная обмотка, питающаяся от мощной конденсаторной батареи,— это внешний металлический кожух камеры. Для улучшения магнитной связи внутри тора установлен железный сердечник. Иногда в качестве первичной обмотки трансформатора используется обычная медная обмотка.

В одной из первых установок «Зета» трансформатор состоит из двух отдельных сердечников, имеющих круглые внутренние отверстия, через которые проходит разрядная камера. Сердечники с внутренним диаметром 1,5 метра и внешним диаметром 3 метра намотаны ленточной трансформаторной сталью.

Если на первичную обмотку такого трансформатора дать мощный импульс тока от конденсаторной батареи, то во вторичном газовом витке также возникнет электрический ток. Этот ток, проходя по газу, разогревает его до высокой температуры, превращая в плазму. Плазменный шнур под влиянием тока сжимается и отрывается от стенок.

Сходные конструкции имели и другие первые экспериментальные установки, основанные на «пинч-эффекте», — «Скептр», «Альфа», «Пихэстрон» (что можно дословно перевести как «а вдруг? — трон»)<sup>1</sup>. На них были проведены обширные эксперименты, результаты которых были, однако, необнадуживающими. Оказалось, что стабилизирующее продольное поле вопреки первоначальным прогнозам слишком мало для того, чтобы сделать плазменный шнур устойчивым к разного рода случайным возмущениям. Продольное магнитное поле по отношению к собственному полю плазмы было слишком мало. Упругие жгуты внутри пружины оказались слишком слабыми, чтобы удерживать ее от аварийных изгибов...

Для того чтобы обойти эту трудность, необходимо было резко увеличить продольное поле и ослабить собственное поле шну-

---

<sup>1</sup> На Зальцбургской конференции ученых-термоядерщиков в 1961 году было доложено о таком большом количестве установок с «пинч-эффектом», особенно основанных на так называемом «тета-пинче» («спилла» и т. д.), что академик Л. А. Арцимович шуточно заметил: «Скоро мы приблизимся к осуществлению лозунга: каждая домашняя хозяйка должна иметь свой собственный «тета-пинч».

ра. Эта задача была решена на установках типа «Токамак». Для создания сильного продольного поля в этой системе были использованы мощные катушки, выдерживающие давление магнитного поля в 100 атмосфер. Эти громадные соленоиды приходилось питать с помощью мощных импульсных генераторов (такого типа, которые используются для возбуждения синхротронов). Хотя магнитное поле, создаваемое такими системами, является импульсным (продолжительность импульса примерно одна пятая доля секунды), оно в сотни раз превосходит по длительности время разряда и для него является практически постоянным.

Продольное магнитное поле установок типа «Токамак» достигает 35 000 эрстед, оно в сотни раз больше, чем поле установок типа «Зета» и «Альфа».

А как не допустить уменьшения радиуса шнура при «пинч-эффекте»? Ведь при уменьшении радиуса возрастет собственное поле шнура и те преимущества, которые достигнуты применением мощного продольного поля, будут сведены к нулю. Однако если поле шнура будет мало, то шнур будет слишком широким. Он будет касаться стенок камеры и охлаждаться. Для преодоления этого противоречия конструкторы «Токамаков» решили установить в тороидальной камере диафрагмы с небольшими по сравнению с диаметром камеры отверстиями. Эксперименты показали, что эта конструкция обеспечивает образование шнура с сечением, ограниченным размерами отверстий диафрагмы. В установке «Токамак-3», пущенной в Институт атомной энергии имени Курчатова в 1962 году, отверстие диафрагмы имеет диаметр 20 сантиметров, диаметр поперечного сечения лайнера составляет 40 сантиметров, а диаметр внешнего кожуха — 50 сантиметров. Диаметр тора (хорошее представление о том, что такое тор, дает обычный бублик) — два метра. Продольное магнитное поле напряженностью до 40 000 эрстед создается восемью катушками с внешним диаметром около 1 метра. Каждая катушка — это монолит из 352 медных витков, запеченных в эпоксидной смоле. Питание катушек производится от ударного генератора мощностью около 75 000 киловатт. В 1964 году пущена усовершенствованная установка «Токамак-5», в которой осуществлено автоматическое управление положением плазменного шнура внутри камеры.

Результаты экспериментов серии «Токамак» очень обнадеживающи, и подобные системы, по-видимому, будут широко применяться в дальнейших исследованиях.

Хорошие результаты получены и на установке типа «Леви-

трон», построенной в Ливерморской лаборатории под руководством профессора Колгейта. Идея этого устройства была высказана А. Д. Сахаровым в 1951 году и состоит в том, что плазма, сжимаемая собственным полем, испытывает еще дополнительное сжимающее действие магнитного поля специального проводника, расположенного в центре плазменного шнура (и, конечно, изолированного от плазмы). В «Левитроне» плазменный шнур имеет в сечении форму кольца и обладает высокой устойчивостью. Вместе с тем необходимость изолировать стабилизирующий кольцевой проводник от плазмы и закрепить его в центре камеры уменьшают шансы этой системы на широкое практическое использование.

Совсем другое направление в магнитном удержании плазмы было открыто советскими академиками А. Д. Сахаровым и И. Е. Таммом, которые в 1950 году предложили, оставив за собственным магнитным полем плазмы второстепенную роль, удерживать ее в так называемых магнитных ловушках (или, как их часто называют, «магнитных бутылках»). Первая ловушка, предложенная Сахаровым и Таммом, представляла собой тороидальную камеру с продольным магнитным полем. Любая заряженная частица, попавшая в камеру, должна была бы двигаться так, чтобы ее траектория «навивалась бы» на магнитные силовые линии. Однако вскоре сами авторы нашли в своей системе серьезный дефект. Оказалось, что в тороидальной системе, где магнитные силовые линии искривлены, напряженность или индукция магнитного поля (густота силовых линий) выше у внутренней стенки трубы, чем у наружной. Это объясняется упругостью силовых линий, стремлением их как можно больше сократиться, пойти по более короткому пути. В результате у внутренней стенки, где путь короче, скапливается больше силовых линий, чем у наружной.

Эта неоднородность магнитного поля изменяет спиральный характер орбит частиц. Вблизи внутренней поверхности, где поле больше, частицы должны были бы двигаться по орбите с меньшим радиусом, чем около внешней поверхности. В результате этого заряженные частицы «дрейфуют» поперек силовых линий магнитного поля, причем положительно заряженные ядра «налетают» на «потолок» трубы, а отрицательные — на ее «дно».

Этот дрейф частиц — вещь довольно неприятная сама по себе, а косвенный эффект этого дрейфа просто катастрофичен. Разделение зарядов в пространстве камеры вызывает возникновение в камере «непредусмотренного» электрического поля, которое

совершенно искажает орбиты частиц, бросая их на стенки камеры.

Как избежать этой неоднородности магнитного поля?

Как сделать, чтобы все пути силовых линий в тороидальной камере были бы равноправны?

Это можно было бы сделать в том случае, если бы заставить силовую линию, которая идет вдоль внутренней поверхности камеры, на каком-то участке поменяться местами с силовой линией, идущей около внешней поверхности. Тогда длина всех силовых линий была бы одинаковой, и все они были бы в равных условиях, а каждая силовая линия, сделав полный оборот, не попадала бы в прежнюю точку и образовывала бы поверхность, называемую магнитной поверхностью.

Такого эффекта можно было бы достигнуть, изгибая силовые линии вокруг оси тора. В этом случае силовые линии имели бы примерно такую форму, как отдельные нити крученой веревки.

Во вращательно-преобразованном («твистующем» — как можно было бы дословно перевести равноценный американский термин) магнитном поле дрейф частиц свелся бы к минимуму.

Частицы, быстро движущиеся вдоль силовых линий и, таким образом, все время огибающие ось камеры, не могут упасть на нижнюю или верхнюю стенку. Когда частица, дрейфующая вверх, находится ниже оси, она, естественно, стремится отодвинуться от оси, когда же она находится внизу, тот же самый дрейф вверх компенсирует прежнее смещение, подвигая ее к оси. В результате среднее расстояние частицы от оси остается неизменным. Но для всего этого необходимо сделать так, чтобы магнитная силовая линия, описывающая в торе кольцо, в то же самое время обращалась бы вокруг оси камеры. Это можно сделать, употребляя обмотки с большим винтовым шагом, такие, например, как показаны на рисунке (на вклейке). Такие обмотки использованы в так называемом «стеллараторе типа С», относительно недавно построенном в Америке. Его камера имеет в плане вид гаревой дорожки или рейстрека на стадионе сверху. Внутренний радиус камеры — 20 сантиметров, осевая длина — 12 метров и напряженность магнитного поля — 5000 эрстед. Мощность питающей энергоустановки — 15 000 киловатт. Установка стоила 25 миллионов долларов и была сделана с большим размахом. Если бы эта экспериментальная установка работала успешно, на ее базе должна была быть построена промышленная установка — «стелларатор типа Д». Однако кропотливые и трудоемкие исследования не всегда приносили желанный успех и промышленная модель «стелларатора типа Д» — первого про-

мышленного термоядерного реактора — осталась на бумаге. Он, по-видимому, никогда не будет построен.

Другой изящный способ «вращательного преобразования», или «твистования» магнитных силовых линий был предложен американским физиком Л. Спитцером и советским физиком Л. А. Арцимовичем.

Мы уже говорили о том, что обычное «нетвистованное» продольное магнитное поле обладает неоднородностями, приводящими к тому, что отрицательные частицы врезаются в «пол», а положительные — в «потолок» камеры. А что, если оставить одну половину тора неизменной, «перепутать» «пол» и «потолок» в другой половине, или, короче говоря, превратить тор-бублик в восьмерку? Тогда, начав падать на первой половине бывшего тора, частица должна будет «падать вверх» на другой его половине и, таким образом, в среднем будет оставаться на одном расстоянии от оси камеры.

Если оценивать тороидальные камеры типа стеллараторов с винтовой обмоткой и преобразованные в восьмерку, то можно сделать вывод о том, что стеллараторы в настоящее время являются наиболее совершенными магнитными системами для удержания плазмы. Их недостатком является трудность изготовления и дороговизна.

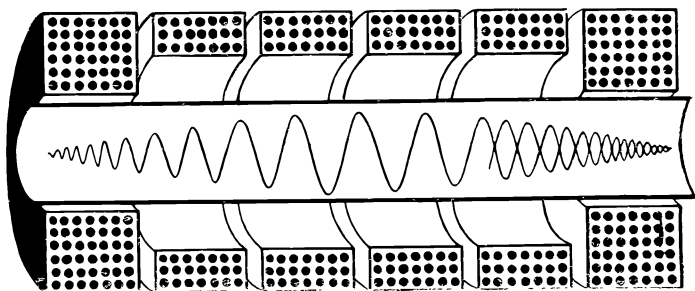
Одним из самых крупных в мире и безусловно самым точным является стелларатор Харьковского физико-технического института АН УССР, носящий звездное имя «Сириус».

Примером гораздо более простой системы может служить ловушка с магнитными пробками или зеркалами, или, как ее еще шутливо называют, «пробкотрон», предложенный академиком А. М. Будкером. Схема «пробкотрона» довольно проста. «Пробкотрон» представляет собой длинную трубу, в которой создано продольное магнитное поле. На концах трубы намотаны гораздо более массивные обмотки, чем в середине; это приводит к тому, что магнитные силовые линии на концах трубы расположены гуще и магнитное поле в этих областях сильнее. Таким образом, частица, попавшая в «магнитную бутылку» этого типа, не может выйти через торцы трубы. На этом принципе была построена самая огромная магнитная ловушка установки «Огра-1», пущенной под руководством Головина в Институте атомной энергии в 1958 году. Вакуумная камера «Огры» имеет в длину 19 метров при внутреннем диаметре 1,4 метра. Средний диаметр обмотки, создающей магнитное поле, — 1,8 метра, напряженность поля в середине камеры — 5000 эрстед, в «пробках» — 8000 эрстед.



Магнитная система типа «пробкотрон», в его «чистом» виде, как выяснилось, обладает серьезными недостатками. В ней самое слабое магнитное поле получается в середине канала, у его стенок. Сюда и устремляется плазма при разряде. Уже менее чем через тысячную долю секунды вся плазма оказывается на стенках камеры.

Новый шаг в усовершенствовании «пробкотрона» был сделан в 1963 году, когда в Институте атомной энергии была пущена установка, получившая название ПР-5. Идея этой установки была предложена Б. Б. Кадомцевым, который исследовал причины неудач с «чистыми» «пробкотронами» и нашел, что для



«Пробкотрон» — термоядерная ловушка с магнитными пробками. Увеличение магнитного поля на концах «магнитной бутылки» как бы запирает частицы в замкнутом объеме камеры.

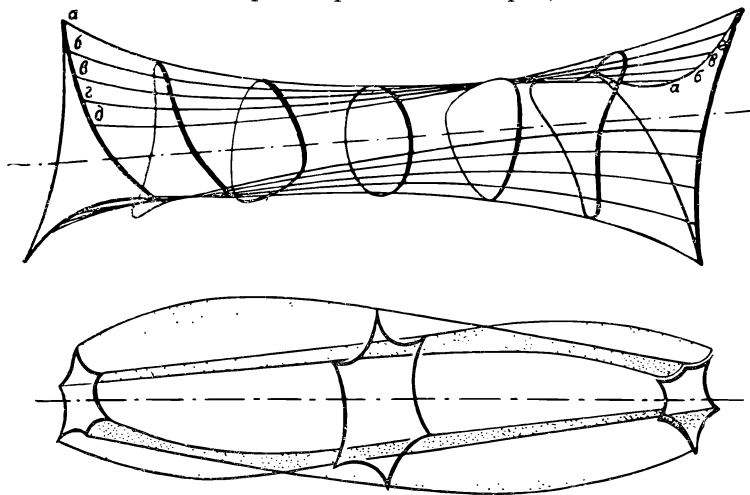
более успешного задержания плазмы необходимо усложнить конфигурацию магнитного поля. Он предложил в дополнение к системе магнитных пробок намотать вдоль цилиндра еще одну обмотку таким образом, чтобы по соседним проводникам шел ток в противоположных направлениях. Это должно было привести к тому, что вблизи стенок цилиндра создавалось бы дополнительное магнитное поле, препятствующее подходу плазмы к стенкам.

При наложении поля прямолинейных проводников на «пробочное» поле получается весьма замысловатая картина магнитных линий. Если, например, «трубка» силовых линий в середине камеры представляет в сечении круг, то на краях камеры это сечение уже представляет собой криволинейный треугольник.

Установка была построена советскими физиками Готтом, Иоффе и Тельковским. Прямолинейные проводники (теперь их во всем мире называют «палки Иоффе») были расположены под

катушками, создающими магнитное поле «пробок». Напряженность продольного магнитного поля в центре камеры — 8000 эрстед, в области «пробок» — 12 000 эрстед. Величина магнитного поля прямолинейных проводников вблизи стенок — 8000 эрстед. Длина рабочего объема — 1,5 метра, диаметр — 40 сантиметров.

Первые же эксперименты вселили надежды в сердца физиков. Устойчивость плазмы возросла по сравнению с экспериментами на «чистых» «пробкотронах» в 35 раз, и плазма «жила»



Конфигурация магнитного поля в установке ПР-5.

несколько сотых долей секунды. Сейчас у ученых существует твердое убеждение, что наилучшей конфигурацией является конфигурация «минимум В», то есть такая конфигурация магнитного поля, при которой поле в центре системы минимально и окружено со всех сторон участками с большим полем. Существует большое число конфигураций «минимум В». Так, французский физик Андреолетти предложил поле, по форме напоминающее примятый кончик папиросы. Советский физик Трубников надеется получить конфигурацию «минимум В» в поле, ось которого свернута в узел.

В 1964 году встала в строй установка «Огра-II», в которой также использован принцип комбинированных магнитных полей.

Сейчас во всех странах понимают, что ключ к долго живущей плазме лежит в усложнении конфигурации магнитного поля.

Уже созданы магнитные системы со встречными полями (установки «Орех», «Нимфа», «Кузи»), где направление тока в одной из пробочных обмоток «перепутано», установки с высокочастотными пробками и еще более изощренные установки. Пожалуй, наибольшие надежды связываются сейчас с предложенным харьковскими физиками гибридом «Левитрона» и «Стелларатора». Работы по созданию магнитных ловушек весьма интенсивно ведутся и у нас, и за рубежом.

На что будет похож термоядерный генератор будущего? Магнитная ловушка должна быть весьма большой — только в этом случае мощность, потребляемая ею, будет невелика по сравнению с мощностью генератора. Это происходит за счет того, что мощность генератора растет в кубе в зависимости от линейного размера системы, а потребляемая обмотками мощность — в первой степени от линейного размера.

Исходя из соображений, касающихся потребляемой магнитной ловушкой мощности, можно считать, что термоядерный генератор должен быть никак не меньше нескольких метров в диаметре и нескольких десятков метров в длину. Только в этом случае полезная мощность генератора будет больше мощности, потребляемой магнитной системой, и составит один миллион киловатт. Такой генератор, возможно, будет представлять собой железобетонный цилиндр, диаметром 7—10 метров и длиной 50 метров; внутри этого исполинского цилиндра расположится вакуумная камера диаметром 2 метра, в которой очень мощными обмотками создается магнитное поле величиной 100 000 эрстед.

Не исключено, однако, что к тому времени удастся создать громадные сверхпроводящие обмотки. В этом случае к.п.д. генераторов резко возрастет.

Стоимость электроэнергии, получаемой на термоядерных электростанциях, будет очень низкой из-за дешевизны исходного сырья — воды. Настанет время, когда электростанции будут вырабатывать буквально океаны электроэнергии. С помощью этой электроэнергии станет возможным, быть может, не только кардинально изменить уровень жизни на Земле, повернуть вспять реки, осушить болота, обводнить пустыни, но и изменить облик окружающего космического пространства — заселить и «оживить» Луну, окружить Марс атмосферой...

Когда все это произойдет?

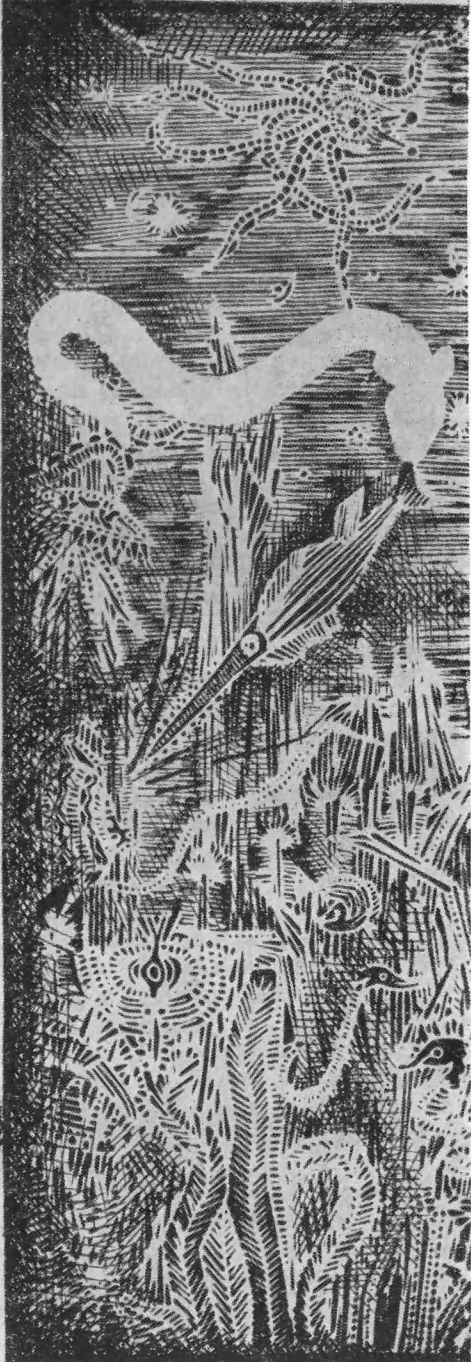
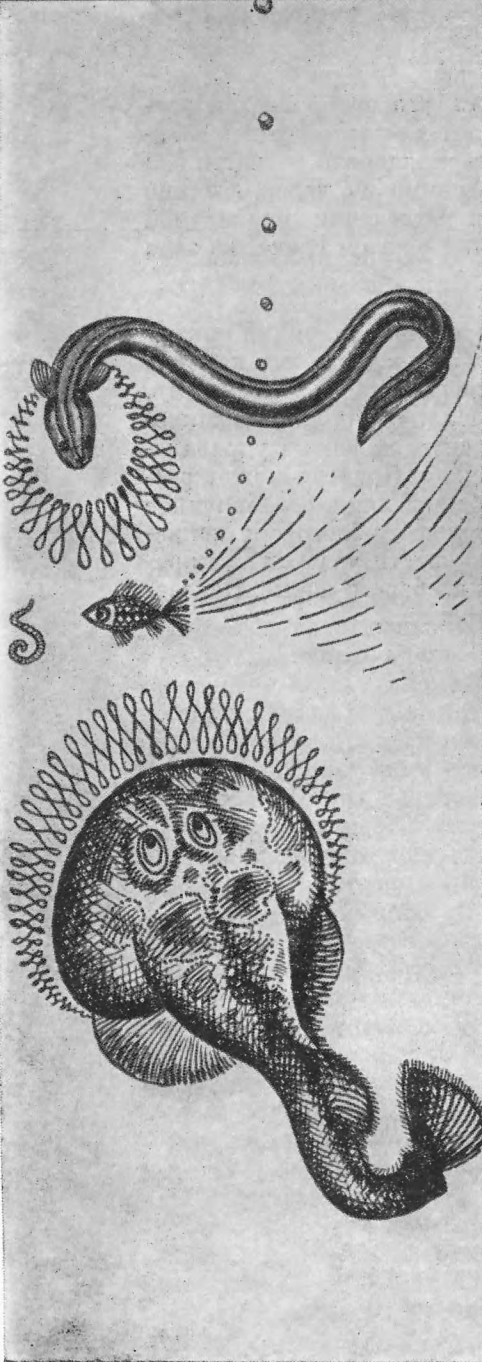
На открытии третьей международной конференции по мирному использованию атомной энергии в 1955 году, где собрались представители 72 наций, председательствующий — индийский физик Хоми Баба, недавно трагически погибший при авиацион-

ной катастрофе в Альпах,— утверждал, что не пройдет и двадцати лет перед тем, как человечество научиться получать электроэнергию с помощью управляемой термоядерной реакции. Когда через девять лет академик Л. А. Арцимович, делая обзор по термоядерному синтезу на заседании Отделения прикладной физики Академии наук СССР, вспомнил об этом сроке, из зала раздался вопрос:

«А когда начался отсчет времени?»

«Это неважно»,— ответил Лев Андреевич и вспомнил притчу о Ходже Насреддине, который обещал за двадцать лет научить кого угодно читать Коран, но не указал, с какого дня считать.

Позже Л. А. Арцимович, однако, писал: «Вряд ли есть какие-либо сомнения в том, что в конечном счете проблема управляемого термоядерного синтеза будет решена. Природа может расположить на пути решения этой проблемы лишь ограниченное число трудностей, и после того как человеку благодаря непрерывному проявлению творческой активности удастся их преодолеть, она уже не в состоянии будет изобрести новые. Неизвестно лишь, насколько затянется этот процесс».



## СВЕРХОРУЖИЕ НАУКИ

Эта глава — о полях, кратких, как мгновенье, как мимолетность, и неповторимых, мощных, как удар Перуна. Начинается она с коротких замыканий, произведенных одним русским инженером в Кзвендишской лаборатории, и их далеко идущих последствий, а затем речь идет о том, откуда берется энергия, обрушивающаяся лавиной на хрупкий соленоид, — одни использовали многотонные конденсаторные батареи, другие — многопудье стремительно движущегося металла, третьи... Третьи предложили тротил и достигли почти невозможного.

В знаменитом споре Вольта с Гальвани победил, как известно, Вольта — ножки лягушек дергались за счет электродвижущей силы, возникающей в искусственно созданном источнике.

Лягушачья ножка была просто чувствительнейшим электроизмерительным прибором.

Но и Гальвани был в какой-то степени прав. Его тезис об электричестве, присущем всем живым существам, превратился за два века в хорошо всем известное учение о биотоках. Биотокки имеются у всех живых существ без исключения. Например, человеческое сердце создает на поверхности тела электрическое напряжение величиной примерно в одну тысячную вольта, а мозг создает напряжение в десять раз меньшее. Гигантский электрический скат способен создать электрический импульс напряжением 50—60 вольт и силой тока 50 ампер, которым он свободно может убить весьма большую рыбу.

Электрический угорь, обитающий в Амазонке и других южноамериканских реках, способен развить на поверхности своего тела разность потенциалов в 500 вольт.

Пытаясь доказать, что разряд электрического угря вызывается неким подобием электрического металлического генератора, Вольта изобрел электрохимическую батарею, названную гальванической, поскольку Вольта полагал, что электрические органы угря работают по аналогичному принципу.

Однако, как выяснилось позже, электрические органы рыб аналогичны не гальванической батарее, способной в течение длительного времени давать постоянный ток, а скорее — конденсатору, в котором мощному импульсу предшествует более или менее длительное накопление зарядов.

Классические исследования электрического угря провел Фарадей, доложивший результаты экспериментов перед Королевским обществом 6 декабря 1838 года. Фарадей использовал два металлических электрода, которыми он касался рыбы. Другой конец электродов он соединил с медными проводниками, а они, в свою очередь, были присоединены к небольшому соленоиду, внутри которого помещалась железная проволока. Во время разряда угря соленоид создавал относительно сильное магнитное поле, намагничивавшее проволоку. По расположению магнитных полюсов проволоки Фарадей определял полярность напряжения угря.

Может быть, эти эксперименты Фарадея и следует считать первым использованием импульсного магнитного поля.

Следующим за Фарадеем в этой области шел П. Л. Капица.

Петр Леонидович Капица родился в 1894 году в Кронштадте. После окончания Петербургского политехнического института он стал там профессором. В 1921 году П. Л. Капица по рекомендации академика А. Ф. Иоффе был послан на стажировку к знаменитому Резерфорду в его Кэвендишскую лабораторию в Кембридже. Однако там молодого инженера ожидало разочарование, поскольку Резерфорд заявил, что в лаборатории уже работает 30 практикантов и он не может принять еще одного.

Говорят, что в этот момент Капица вспомнил о том, что точность измерений в экспериментах Резерфорда обычно лежит в пределах 10%. Указав на это Резерфорду, Капица заметил, что добавление еще одного студента изменит общее число студентов на величину, которая будет лежать в пределах десятипроцентной ошибки измерений и будет совершенно незаметна для Резерфорда, предостерегавшего всех против «робкой точности измерений».

Так или иначе, Капица стал работать у Резерфорда. Первые его работы в Кембридже относились к ядерной физике, однако через некоторое время он открыл для себя совершенно новое поле деятельности.

Мы уже говорили о том, что П. Л. Капица предложил для изучения свойств альфа-частиц помещать камеру Вильсона в магнитное поле. В магнитном поле траектория движения заряженной частицы искривляется, причем радиус искривления зависит от скорости частицы. Проведя серию экспериментов в полях до 43 000 эрстед, Капица решил распространить измерения на более сильные магнитные поля. Для этого необходимо

было создать соленоиды, поле которых превышало бы прежнее поле примерно в десять раз.

Основной проблемой создания таких сильных полей является громадная мощность источника тока и нагревание соленоида. Для решения двух этих проблем сразу Капица предложил создавать сильные магнитные поля на очень короткий срок — на такой самый короткий срок, во время которого можно еще провести необходимые измерения. Этим можно было бы убить сразу двух зайцев. Во-первых, любая обмотка обладает тепловой инерцией. Она не может мгновенно нагреться до температуры, при которой бы она расплавилась даже под влиянием очень большого тока. Во-вторых, намного упрощается проблема источника сильного тока. Этот сильный ток необходим лишь в течение очень короткого времени, и следовательно, в качестве источника могут быть использованы устройства, которые способны к мгновенному мощному разряду, следующему за относительно продолжительным периодом зарядки.

Этих устройств довольно много. Можно было бы, например, использовать электрическую энергию, накопленную в конденсаторной или аккумуляторной батарее, работающих при разряде в режиме короткого замыкания.

Можно воспользоваться и магнитной энергией, накопленной в магнитном поле трансформатора. По расчетам Капицы, для получения 500 000 эрстед таким способом понадобился бы трансформатор с малым числом витков на вторичной обмотке и сердечником длиной два-три метра, диаметром 30—40 сантиметров.

Такой эксперимент в небольшом масштабе был проведен Капицей вместе с известным физиком Блэккетом.

Эксперимент оказался неудачным. Выяснилось, что быстро механически разорвать первичную цепь трансформатора было почти невозможно: при разрыве появлялась дуга, и энергия намагниченного железа вместо того чтобы обрушиться лавиной во вторичную цепь, возвращалась в первичную и выделялась в яркой, блистательной, но... абсолютно бесполезной дуге.

Конденсаторы также были непригодны, поскольку в то время они были весьма несовершенны и громоздки.

П. Л. Капица обратился к аккумуляторным батареям. Их тоже пришлось специально конструировать, поскольку необходимо было, чтобы их собственная емкость и активное сопротивление были бы минимальны. С помощью этих новых аккумуляторных батарей удалось достигнуть при их коротком замыкании мгновенного тока в 7000 ампер и мгновенной мощ-



ности 1000 киловатт. Разряжая батарею на один из соленоидов с внутренним диаметром 1 миллиметр, Капице удалось получить на три тысячных доли секунды, пока соленоид не разрушился, магнитное поле напряженностью в полмиллиона. С батареей было испытано множество соленоидов самых разнообразных конструкций. В одном из соленоидов, навитом медной лентой, можно было проводить измерения в поле 130 000 эрстед. Когда тот же соленоид погружался одновременно в жидкий азот, в нем оказалось возможным проводить регулярные измерения в магнитном поле напряженностью 250 000 эрстед. Это поле было тем максимумом, который удалось в то время получить с помощью аккумуляторов. Для больших полей было необходимо искать другой, более мощный источник электроэнергии, который был бы способен давать мощность 50 000 киловатт в промежутке времени, пока обмотка не нагреется до 150°, то есть в течение одной сотой доли секунды.

В качестве мощного источника тока Капица использовал электрогенератор номинальной мощностью 2000 киловатт, который в режиме короткого замыкания не сгорал, не разваливался на куски, как обычные генераторы, а давал без аварийных последствий для себя в течение одной сотой доли секунды мощность 50 000 киловатт. Этот генератор был построен фирмой «Метрополитен Виккерс» по расчету советского инженера М. П. Костенко, П. Л. Капицы и англичанина Майлса Уолкера. Этот генератор приводился во вращение специальным электродвигателем, получавшим энергию от аккумуляторных батарей. Ротор генератора весил 2,5 тонны, диаметр его составлял 50 сантиметров. Большой момент инерции ротора позволял обойтись без специального маховика. Генератор давал переменный ток. Это имело большие преимущества, потому что большой ток короткого замыкания был нужен Капице лишь на краткий промежуток времени. Если бы генератор давал постоянный ток, то по прошествии одной сотой секунды он должен был бы быть выключен, а это представляет собой сложную задачу. Переменный же ток, как известно, два раза в течение каждого периода сам проходит через нулевое значение и выключить генератор, когда ток его проходит через нуль, не представляет особого труда. Нужно только строго синхронизовать момент прохождения тока через нуль с моментами включения и выключения генератора на короткое замыкание. Сделать это абсолютно точно невозможно — момент выключения может прийти на такое время, когда ток в обмотке еще не равен нулю. Поэтому Капице «на всякий случай» пришлось сконструировать выключатель на ток

5000 ампер (амплитуда тока — 30 000 ампер), отключающий цепь за  $1/10\,000$  долю секунды, который уже сам по себе представляет произведение инженерного искусства.

Соленоид, на который обрушивался колоссальный ток короткого замыкания генератора, представлял собой катушку из меди квадратного сечения. В последних экспериментах медь была заменена сплавом меди с кадмием, обладающим большей механической прочностью при несколько повышенном электросопротивлении. Когда ток генератора проходит через катушку, в ней развиваются грандиозные механические усилия, достигающие нескольких десятков тонн. Для того чтобы эти усилия не разорвали обмотку, она снаружи обматывается прочной стальной лентой, воспринимающей усилия.

Это, однако, было не все. Под влиянием мощных сил катушка немного разматывается, и концы катушки отрываются от тех электровыводов, через которые к ней подается ток. Катушка за катушкой погибала таким образом на глазах у Капицы из-за второстепенного явления уже после того, как были преодолены, казалось бы, все основные трудности. Преодоление «мелочи» заняло несколько месяцев. Наконец решение было найдено. Капица создал обмотку, которая могла «дышать», то есть автоматически расширяться. Один из контактов был сделан подвижным и сам после нескольких испытаний занимал то положение, которое ему «больше нравилось».

Другим препятствием была краткость времени, в течение которого можно было производить измерения. Ведь магнитное поле существовало в соленоиде всего одну сотую долю секунды, и за эту сотую долю секунды все эксперименты должны были быть начаты и закончены.

Кроме того, серьезную проблему создавали микроземлетрясения, происходящие при резком торможении генератора в тот момент, когда его обмотка замыкалась накоротко. Несмотря на то что генератор был установлен на массивном изолированном фундаменте, покоящемся на скальном основании на виброустойчивой подушке, волна микроземлетрясения искажала результаты измерений. Чтобы этого не происходило, Капица предложил весьма изящный выход. Он расположил соленоид с объектом исследования на расстоянии двадцати метров от генератора — в другом конце комнаты. Волна землетрясения,двигающаяся со скоростью звука в данной среде, проходит двадцать метров за одну сотую секунды и достигает соленоида уже к тому моменту, когда измерения проведены и окончены.

В момент короткого замыкания в обмотке образуются очень

высокие местные температуры, постепенно рассасывающиеся. Расчеты показывают, что эти местные температуры должны были бы превышать температуру на Солнце. Это дало повод профессору Эддингтону шутливо заявить, что работы Капицы и работы Резерфорда по расщеплению атомов приводят к тому, что хотя температура в глубинах звезд, быть может, равна миллионам градусов, эти глубины являются довольно прохладным местом по сравнению с Кэвендишской лабораторией.

Вот что писал П. Л. Капица о своих опытах Резерфорду, находившемуся в то время в Каире.

Кембридж. 17 декабря 1925 года.

«...Я пишу Вам это письмо в Каир, дабы рассказать, что мы уже сумели получить поля, превышающие 270 000, в цилиндрическом объеме диаметром 1 см и высотой 4,5 см. Мы не смогли пойти дальше, так как разорвалась катушка, и это произошло с оглушительным грохотом, который, несомненно, доставил бы Вам массу удовольствия, если бы Вы слышали его...

Но результатом взрыва был только шум, поскольку, кроме катушки, никакая аппаратура не претерпела разрушений. Катушка же не была усилена внешним ободом, каковой мы теперь намереваемся сделать.

...Я очень счастлив, что в общем все прошло хорошо, и отныне Вы можете с уверенностью считать, что 98 процентов денег были потрачены не впустую, и все работает исправно.

Авария явилась наиболее интересной частью эксперимента и окончательно укрепляет веру в успех, ибо теперь мы точно знаем, что происходит, когда катушка разрывается. Мы также знаем теперь, как выглядит дуга в 13 000 ампер. Очевидно, тут вообще нет ничего пагубного для аппаратуры и даже для экспериментатора, если он держится на достаточном расстоянии.

Со страшным нетерпением жажду увидеть Вас снова в лаборатории, чтобы в мельчайших деталях, иные из которых забавны, рассказать Вам об этой схватке с машинами...

С помощью импульсного генератора Капице удалось провести планомерные исследования в магнитных полях вплоть до 320 000 эрстед. Это поле, получавшееся в объеме двух кубических сантиметров, стало верхней границей уверенно получаемых напряженностей магнитного поля. Вплоть до этой границы Капица совместно с рядом других ученых исследовал спектры Зеемана и Пашенбека, магнитосопротивление, магнитострикцию и другие явления.

Говоря о перспективах получения еще более сильных маг-

нитных полей, П. Л. Капица писал в одной из своих статей, что уже в то время (то есть в 20-х годах) состояние техники позволяло создать конденсаторные батареи, которые могли бы дать в импульсе два-три миллиона эрстед.

Однако технические трудности оказались столь велики, что и сейчас, через сорок лет, таким способом не удастся получить полей, о которых говорил П. Л. Капица.

Мне уже хотелось было закончить раздел, посвященный П. Л. Капице и его экспериментам, когда на память пришел один забавный эпизод. Как-то в доме-музее Алексея Толстого на столе писателя мое внимание привлекли старинные часы. На них была вывешена миниатюрная мемориальная табличка:

«Эти часы ремонтировал Алексею Толстому академик Капица».

«Стало быть, другим не доверял. Дорогие больно часы», — сказала находившаяся поблизости старушка.

Оказывается, два знаменитых «магнитчика» — В. Стерджен и П. Л. Капица — братья по «хобби». Петр Леонидович, как и его предтеча, любит «в свободное от работы время»... ремонтировать часы с хитроумными механизмами.

А теперь вернемся к магнитным полям...

Рекорды по величине напряженности магнитного поля, поставленные П. Л. Капицей, оставались незыблемыми в течение более чем двадцати лет. Лишь в пятидесятых годах в связи с необходимостью исследовать свойства элементарных частиц в толстых фотографических эмульсиях проблемой получения еще больших полей стали заниматься группы физиков в США и СССР. Физики Циклотронной лаборатории Гарвардского университета хотели создать такое поле, которое могло бы заметно искривить траектории частиц, попадающих в эмульсии. Для этого было необходимо поле напряженностью не ниже 200 000 эрстед.

Задача создания сильных магнитных полей оказалась настолько сложной и интересной, что физики занялись ею не как приложением к методу фотоэмульсий, а самой по себе и вскоре перешли миллионную отметку.

Это было выполнено при помощи мощных конденсаторных батарей, которые в течение одной стотысячной доли секунды могли давать электрическую мощность в миллион киловатт, или миллиард ватт (мощность Днепрогэса — 600 000 киловатт). Внезапное высвобождение этой энергии происходило с грохотом, напоминающим удар грома.

Вся эта лавина энергии загоняется в один-единственный массивный виток. Как было показано Капицей, соленоиды обычного типа, намотанные медной проволокой, «выживают» лишь в полях до 300 000 — 350 000 эрстед. Соленоиды битеровского типа оказались устойчивее, но и они выдерживают магнитные поля с напряженностью не выше 500 000—700 000 эрстед. Соленоид не в состоянии противодействовать громадным усилиям, возникающим в таких полях. Особенно слабым местом оказывается межвитковая изоляция. Чтобы от нее избавиться, и пришлось перейти на один-единственный массивный виток.

Витки изготовлялись из меди, закаленной стали или бериллиевой бронзы.

Целью экспериментов было выяснить, насколько различные металлы могут противостоять механическим и тепловым последствиям сверхсильных импульсных полей.

Одним из результатов эксперимента было получение фотографий, на которых показаны три разных витка из бериллиевой бронзы, подвергнутых действию собственного поля.

Все витки до прохождения импульса имели внутренний диаметр около двух миллиметров. Левый, подвергнутый действию поля в 700 000 эрстед, остался почти невредимым. Правый, поле в котором достигло 1,3 миллиона эрстед, раскололся пополам. Виток в центре выдержал поле в 1,6 миллиона эрстед, однако бронза «потекла», оплавилась и внутреннее отверстие расширилось в восемь раз.

В процессе экспериментов удалось получить весьма интересные данные по поведению различных материалов в сильных импульсных магнитных полях. Поле в 700 тысяч эрстед, по видимому, является тем практическим пределом, который без разрушения могут выдержать самые устойчивые материалы.

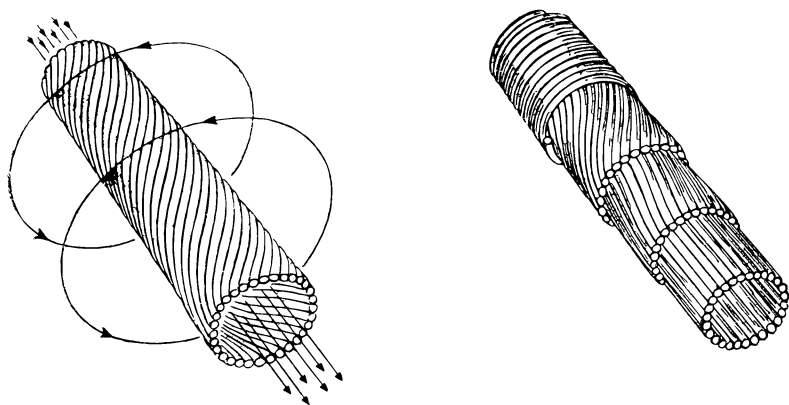
А как быть дальше? Неужели идеи создания воспроизводимых магнитных полей большей напряженности бесперспективны.

Ответ на этот вопрос дали люди, весьма далекие от области создания сильных магнитных полей.

Это были астрофизики. Наблюдая за ночным мерцающим небом, астрономы задумались над таким вопросом:

— Известно, что в космическом пространстве существуют, хотя и слабые (доли эрстеда), магнитные поля. Эти поля создаются гигантскими всемирными соленоидами — облаками межзвездного газа. Этот чрезвычайно разрозненный, эфемерный газ тем не менее находит в себе силы не распасться, не разго-

няться во все стороны под действием чудовищного для него по силе воздействия магнитного поля в доли эрстеда. Не может ли существовать такое положение вещей, предположили Шлютер и Люст, что магнитные поля обретают свою форму под воздействием баланса чисто магнитных сил, или, другими словами, не существуют ли такие конфигурации магнитного поля, которые являются «бессильными» в том смысле, что эти поля не стремятся расшириться или изменить свою форму?



«Бессильные» конфигурации обмоток.

Отталкиваясь от этой «сумасшедшей» идеи, ученые начали разрабатывать проблему возможности создания «бессильных» конфигураций и вскоре, к своему удивлению, увидели, что она отнюдь не безнадежна и не так уж запутана.

Представим себе группу проволок, намотанных таким образом, что они создают два поля (естественно, что поле одно; однако для удобства рассуждений можно разделить его на осевое и круговое поля, которые в сумме дают действительное поле).

Осевое поле обмотки стремится разорвать ее, поле, окружающее обмотку, напротив, стремится ее сжать. Таким образом усилия взаимно уничтожаются. Тем не менее такая обмотка непрактична, поскольку сильное поле, сдавливая обмотку с обеих сторон, в конце концов разрушит ее.

Более практичной обмоткой, возможно, окажется другая. Она может быть выполнена из нескольких слоев, причем намот-

ка в самом внутреннем слое почти параллельна оси, и в самом внешнем — почти перпендикулярна оси. В такой обмотке переход от осевого к кольцевому полю осуществляется постепенно, и усилия сжатия распределяются равномерно на все слои.

Сейчас разработано большое число «бесспловых» и «малоспловых» обмоток. «Бесспловые» обмотки — это последняя надежда физиков на получение устойчивых сильных полей в том случае, если не будут открыты более прочные и тугоплавкие материалы.

Получение сильных магнитных полей при разряде мощных конденсаторных батарей на биттеровский соленоид, иногда запеченный для прочности в керамику, или на отдельный виток сейчас широко распространено для создания полей в 200—700 тысяч эрстед. У нас такие установки имеются в Московском государственном университете, физическом институте АН СССР, в Свердловске и других городах.

А не существует ли каких-либо способов получения сильного магнитного поля, основанных не на внезапном обрушивании на соленоид громадной энергии, а на каком-нибудь ином принципе? Советские электротехники Бабат и Лозинский в ответ на этот вопрос в 1940 году опубликовали статью, в которой впервые высказана идея «концентратора» потока.

Эта идея может быть легко понята. Предположим, что у нас имеется трубка с током, с одной из сторон замкнутая металлическим поршнем. Ток трубки создает внутри нее магнитное поле. Величина магнитного поля характеризуется густотой магнитных силовых линий, то есть числом их, приходящимся на единицу площади сечения внутренней области трубки. Что произойдет, если поршень внезапно вдвинуть во внутреннюю область трубки? Тогда внутреннее сечение трубки резко сократится. Так как число силовых линий, сцепленных с трубкой, мгновенно измениться не может, то плотность их в уменьшившемся сечении столь же резко возрастет. Следовательно, возрастет магнитная индукция и напряженность магнитного поля.

Таким образом, принцип «концентрации потока» сводится к тому, что поле относительно небольшой величины создается сначала обычными способами в большом объеме; затем сечение пути магнитного потока тем или иным способом резко сокращают, в результате чего поле резко возрастает.

Если бы проводники обмотки обладали сверхпроводимостью, то возросшее поле могло бы сохраняться в течение произвольно-го промежутка времени; для обычных же проводников, в кото-

рых индуктированные токи быстро затухают, всплеск поля продолжается краткие доли секунды.

Американские физики Хаулэнд и Фонер, используя идею Бабата и Лозинского, создали концентратор, в котором не было механического сокращения рабочей зоны магнита. Выяснилось, что, поместив внутри соленоида массивный виток с небольшим отверстием, мы также можем добиться эффекта «концентрации»: при импульсе тока во внешней обмотке в массивном витке наводятся вихревые токи Фуко, которые вытесняют магнитный поток к центральному отверстию массивного витка. С помощью концентраторов удалось получить магнитное поле с амплитудой 450 тысяч эрстед, в то время как в соленоиде без массивного витка поле было равно 300—350 тысячам эрстед.

В других экспериментах удалось достигнуть магнитного поля 200 тысяч эрстед в довольно значительном объеме, примерно равном содержимому стакана. В этот объем удалось вставить толстые фотоэмульсии для исследования ядерных процессов. Батарея конденсаторов для этих исследований одна весила более тридцати тонн.

Вершиной, венчающей все исследования в области сверхсильных магнитных полей, явилась серия экспериментов, проведенных несколько лет назад по предложению академика А. Д. Сахарова.

Рассматривая идею «концентрации» магнитного потока и понимая, что эффективность «концентрации» будет тем выше, чем быстрее происходит «схлопывание» зоны концентрации, А. Д. Сахаров пришел к выводу, что эффект «концентрации» будет наиболее успешным в том случае, если «схлопывание» будет производиться с помощью взрывчатых веществ. Эта идея может быть легко понята.

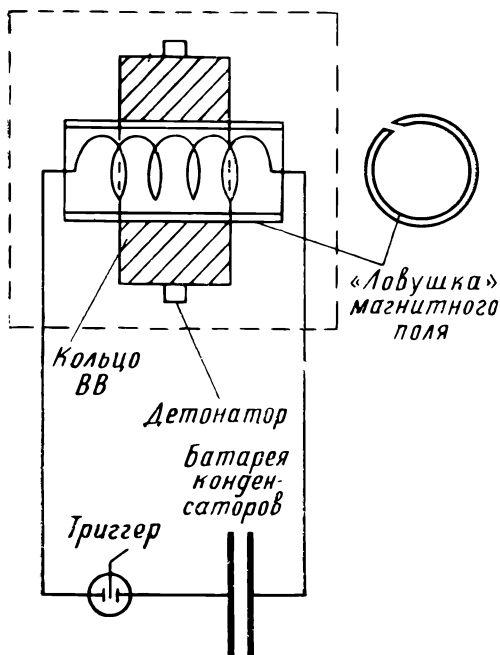
Если внутри замкнутого массивного витка каким-то образом создано магнитное поле, то затем, сжимая виток с помощью кумулятивного (направленного в какую-то сторону) взрыва, можно добиться того, что плотность силовых линий и, следовательно, величина магнитного поля внутри суженного витка сильно возрастет. Это происходит потому, что магнитный поток, сцепленный с каким-то контуром, не может мгновенно измениться.

Устройство, использованное в экспериментах, схематически изображено на рисунке. Первоначальное магнитное поле в 30 000 эрстед создается с помощью батареи конденсаторов и внешнего соленоида.

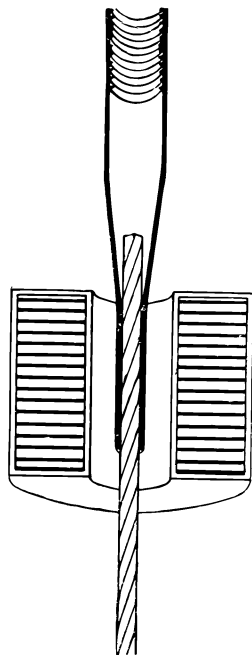
Металлическое кольцо-виток диаметром 7,5—10 сантиметров



окружается 4—8 килограммами взрывчатки. Когда внешнее поле достигает максимума, взрывчатка подрывается и кольцо «схлопывается» до диаметра в несколько миллиметров. Скорость «схлопывания» составляет около половины сантиметра за одну миллионную долю секунды (четыре километра в секунду).



Получение магнитного поля методом взрыва. Схема установки.



Наклеп алюминиевой трубки на стальной трос в импульсном магнитном поле.

В процессе «схлопывания» «магнитокумулятивного генератора» МК-1, начальное поле которого создавалось с помощью другого магнитокумулятивного генератора МК-2, было измерено чудовищное поле в 25 миллионов эрстед. Дальнейшие измерения поля были невозможны, поскольку во время «схлопывания» диаметр кольца уменьшался настолько, что кольцо раздавливалось датчик, с помощью которого производились измерения.

Весь процесс длился несколько миллионных долей секунды.

Многие видные физики считают, что достигнутое поле — не предел, и предвещают получение подобным способом магнитных полей в 100 и более миллионов эрстед. Такие невообразимые поля существуют лишь в недрах планет и звезд. Поскольку давление магнитного поля растет пропорционально квадрату его напряженности, то при достижении столь высоких полей будут развиваться и соответствующие, в миллиарды атмосфер, давления.

Проведение экспериментов при одновременном наложении столь сильного поля и давления имеет чрезвычайно большое значение для изучения, например, процессов, происходящих внутри планет и звезд, при гравитационном коллапсе сверхзвезд и т. д.

Применяются ли импульсные поля в технике? Хотя техническое использование импульсных полей делает пока первые шаги, перспективы в этой области весьма многообещающи.

На рисунке изображено, например, каким образом наклепывается защитная металлическая трубка на стальной трос. Давление, развиваемое импульсным полем, настолько велико, что трубка придавливается к негладкой поверхности троса с такой плотностью, какую невозможно получить никаким другим способом.

Точно так же можно использовать электромагнитные усилия, возникающие в мощных магнитных полях, для штамповки деталей, запрессовки проводящих элементов в изоляционные втулки и для других технических целей.

Однако, по-видимому, наиболее грандиозным, ни с чем не сравнимым по масштабам, использованием «взрывных» магнитных полей может стать предложенное А. Д. Сахаровым их применение в качестве магнитных систем фантастических по своим масштабам ускорителей, в которых взрывчаткой будет служить уже не тротил, а небольшая атомная бомба.

Взрыв предполагается осуществить в галерее объемом 1000 кубометров, находящейся на дне километровой шахты. Удивительным может показаться то, что это, казалось бы, безумно дорогое устройство обойдется значительно дешевле обычного ускорителя, который мог бы давать частицы с такой же энергией. Это — уникальный по своей дерзости и сложности проект, однако из моей недавней беседы с его автором я вынес впечатление, что его практическая реализация гораздо ближе к осуществлению, чем это могло бы показаться с первого взгляда.



## МАГНИТНЫЙ, МАГНИТНЫЙ, МАГНИТНЫЙ МИР

Последняя глава, в которой автор хочет показать, что весь мир состоит из магнитов; глава начинается с сетований пожилого человека, потом автор рассказывает о тех случаях, когда север находится на западе, вспоминает Христофора Колумба и связь магнетизма с гравитацией, затем речь ведет о солнце, на котором живут «солнцелюди», и гравитационных коллапсах сверхзвезд, а в конце еще раз возвращается к идее о всеобщей магнитности мира.

Недавно в одном из журналов начала века я прочел о сетованиях пожилого человека.

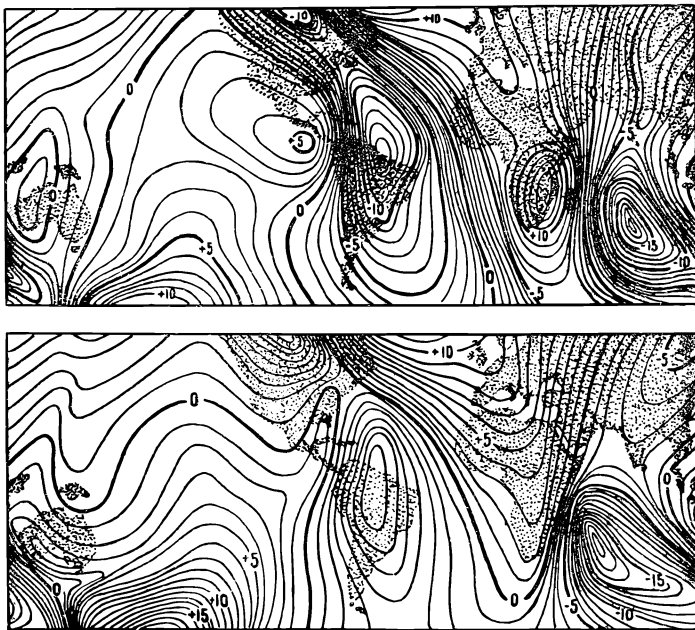
«Проклятая жизнь! — писал он. — Все изменяется — моды, люди, налоги! Единственным утешением мне перед смертью будет то, что стрелка компаса так же, как и раньше, указывает на север!»

Наивные мысли! Начать с того, что стрелка вовсе не указывает на север. Последний раз, как высчитали ученые, она указывала точно на север в 1663 году! И раньше этого и после южный магнитный полюс, тот, на который указывает «северный» конец стрелки компаса и который по иронии истории находится около северного географического полюса, совершал самые замысловатые путешествия по нашему земному шару. Ученые не исключают возможности, что много миллионов лет назад он находился на Южном полюсе, а на Северном в то время находился другой — северный магнитный полюс. Триста миллионов лет назад северный магнитный полюс находился в Японии, или, вернее сказать, на том месте, где сейчас находится Япония.

Полмиллиарда лет назад северный магнитный полюс находился в середине Тихого океана и таким образом был гораздо ближе к экватору, чем к полюсу. Все эти данные получены при изучении древней окаменевшей лавы, содержащей кусочки магнитных примесей, атомы которых ориентируются по направлению магнитного поля. Данные более позднего времени можно получить, изучая намагниченность керамических изделий, созданных в древности. При остывании отожженной керамики атомы железа, входящие в ее состав, ориентируются в направлении земного магнитного поля. Так, при изучении намагничения ваз, чашек и сосудов для хранения зерна, созданных

в Индии и Китае более 4000 лет назад, удалось установить, что в то время земное магнитное поле было несколько выше, чем теперь, а магнитные полюса находились совсем не там, где мы их себе представляем сейчас.

Впрочем, зачем ходить так далеко? С 1928 по 1948 год южный магнитный полюс сместился на целых 150 километров.



Изменение магнитного поля Земли за 30 лет.

Для того чтобы при вождении судов и самолетов можно было пользоваться магнитным компасом, необходимо постоянно делать корректировку, связанную с тем, что магнитный и географический полюсы Земли не совпадают.

Ошибка становится особенно ощутимой при приближении к полюсу. О том, насколько нельзя доверять компасу в подобных условиях, рассказывает один из старых номеров научно-популярного журнала:

«Это было в 1926 году. Огромный дирижабль «Норвегия»,

отяжелев от наросшего на нем льда, с трудом слушаясь управления, медленно продвигался к полюсу. Северный полюс! Каким таинственным и недостижимым казался он в те времена! Сколько дерзких мечтаний и надежд было связано с ним. Только Роберту Пири, отдавшему 25 лет нечеловеческого, самоотверженного труда на борьбу с ледяной стихией, удалось побывать в этой заветной точке, где сходятся все земные меридианы. И вот теперь, спустя 18 лет, уже не на собаках, а на воздушном корабле к полюсу направлялись люди.

В светлой, застекленной рубке дирижабля у пульта управления стояло трое мужчин, с напряжением, выдававшим скрытое волнение и тревогу, всматривавшихся в белесую линию призрачного горизонта. Это были знаменитый норвежский полярный исследователь Руальд Амундсен, его верный спутник штурман Рисер Ларсен и итальянец Умберто Нобиле — конструктор этого воздушного гиганта.

...Корабль бросало. Низкие, рваные лохмы облаков настойчиво прижимали его к неровной поверхности льда, испещренного черными разводами открытой воды, дымящейся клубами тумана. И вот наконец:

— Под нами полюс! — торжественно произнес Амундсен, отрываясь от расчетов. В открытый люк полетели флаги Норвегии и Италии и длинной цепочкой легли на белоснежном ледяном поле. Сняв головные уборы, все молча, с непередаваемым чувством смотрели на бесконечные торосистые поля с диким нагромождением битого льда и трещин.

Вдруг внимание всех привлек Нобиле, с большим трудом подтаскивавший к люку огромный католический крест со стальным острием у основания. Мгновение — и крест полетел на лед. Нобиле набожно осенил себя крестным знамением.

Амундсен, еле сдерживаясь от гнева, отвернулся. Он так тщательно экономил в весе, отказываясь от необходимых приборов, запаса провианта, а тут этот никчемный груз, тайно уложенный в дирижабле.

— Ну вот и освободились от балласта! — иронически сказал Рисер Ларсен. — Крест на землю, а мы вознесемся в небеса!

— Курс зюйд! — крикнул Амундсен, прерывая наступившее тягостное молчание.

— Есть курс зюйд! — ответил Рисер Ларсен, внимательно следя за стрелкой главного магнитного компаса, которая — он это заметил давно, еще на широте 84 градуса, — вела себя очень странно. Однако это его не очень беспокоило. Два часа назад

сквозь разрывы в облаках было видно Солнце и курс был проверен по солнечному компасу, а теперь Рисер Ларсен уверенно вел корабль по гирокомпасу, и если он и следил за магнитной стрелкой, то скорее из любопытства, чем для контроля курса.

Но что это? Ларсен поманил своих спутников рукой и кивком показал вперед. Все бросились к иллюминаторам. Удивление, граничащее с полной растерянностью, застыло на лицах: на заснеженном поле было ясно видно несколько флагов, бьющих полотнищами по ветру.

— Нас кто-то опередил! — испуганно воскликнул Нобиле.

— Не думаю! Вон, смотрите, папский крест, сброшенный вашей рукой на грешную землю! — насмешливо ответил штурман и, взглянув на Амундсена, добавил: — Мы сделали петлю. Гирокомпас, видимо, отказал, а магнитные компасы словно взбесились, ни одному верить нельзя. Надо пробиваться через облака к Солнцу, иначе будем кружиться вроде второго спутника нашей планеты!

Дирижабль метнулся вверх. Стрелка высотомера поползла по циферблату: 500... 600... 900 метров. Надрывно выли моторы, и слышно было, как куски льда, срываясь с пропеллеров, пулеметной очередью стучали по оболочке. На высоте 1100 метров блеснуло Солнце, и корабль плавно поплыл над сказочной пеленой облаков.

Амундсен прильнул к солнечному компасу и крикнул:

— Истинный курс 120 градусов, взять вправо 60 и держать курс 180 градусов!

Корабль плавно развернулся, и на экране солнечного компаса в центре пересечения нитей остановился солнечный блик.

— Теперь все в порядке! — Он облегченно опустился на мешки с провиантом. Низкое, холодное, но яркое Солнце уверенно направляло путь воздушного корабля».

О несовпадении магнитного и географического полюсов — явлении, называемом склонением магнитной стрелки, знали давно. В Китае оно было известно, по крайней мере, в XII веке, а в начале XV века голландские и немецкие мастеровые изготовляли компасы с указанием склонения. Изменение склонения магнитной стрелки на одной параллели открыл Христофор Колумб в 1492 году. С этим открытием связаны и весьма неприятные для Колумба минуты. Дело в том, что через некоторое время после отплытия из Палосы моряк, следивший за компасом, с ужасом заметил, что стрелка начала отклоняться к западу

вместо того, чтобы, как это было известно испокон веку, слегка отклоняться к востоку.

Проверка курса судна по Солнцу показала, что стрелка «грешит» на целых 11 градусов! Известие об этом вызвало панику среди суеверных матросов, и атмосфера на каравелле стала сгущаться, грозя перерастить в бунт. Может быть, и не суждено было Америке быть открытой в то плавание, если бы Колумб не вышел из положения почти так же прямолинейно, как и в случае с «Колумбовым яйцом» — он просто пошел на прямой обман, переместив шкалу компаса с делениями таким образом, чтобы стрелка показывала прежнее направление, и объяснил это тем, что «Полярная звезда сместилась со своего места».

Итак, о склонении магнитной стрелки людям было уже известно, но к концу XVI века было произведено всего лишь 81 измерение склонения. Лейбниц писал Петру I в 1711 году: «Известно, что магнит большей частью не направляется прямо на север, обыкновенно несколько отклоняется к востоку или западу, притом в разных местах на разные величины. Некоторая сила, подверженная изменениям, производит из года в год перемены в этих отклонениях, так что необходимо время от времени повторять их определения. Ежели бы Ваше царское величество повелеть изволили учредить таковые наблюдения, то тем оказали бы важное пособие к усовершенствованию мореплавания и пользу всем морякам».

Первая мировая магнитная карта склонения была составлена известным астрономом Галлеем в 1701 году по поручению английского Адмиралтейства. Эта карта, однако, страдала неполнотой и неточностью, поскольку измерения проводились моряками, и следовательно, только на морях.

Изменения магнитного поля Земли во времени были открыты известным математиком XVII века Генри Геллибрантом, который, производя магнитные измерения вблизи Лондона, заметил, что его данные не совпадают с теми, которые были получены на том же месте полвека назад.

В конце XVII века естествоиспытатель Цельсий (в честь которого названа наша температурная шкала) установил связь между магнитными возмущениями (бурями) и полярными сияниями<sup>1</sup>. В то же время было замечено, что особенно сильные магнитные бури, при которых «стрелки компасов мечутся как

---

<sup>1</sup> Много веков назад это было подмечено и русскими поморами, у которых даже есть поговорка: «При сполохах (полярных сияниях) матка (компас) спалит».



бешеные», случаются в годы максимального количества солнечных пятен. Очевидная связь многих явлений с магнетизмом Земли и важность его для мореплавания побудили ученых к поискам причин, определяющих магнетизм Земли.

Ключом к разгадке земного магнетизма в то время было объяснение, предложенное еще Гильбертом, считавшим, что вся Земля состоит из магнитного камня. Небольшие шары, выточенные Гильбертом из магнитного камня (терреллы), обладали почти такой же картиной магнитного поля, что и Земля, и поэтому объяснение Гильберта казалось убедительным.

Любопытно, что и сейчас терреллы, то есть магнитные шары с полем, имитирующим земное, широко применяются даже при ультрасовременных исследованиях, например, для моделирования магнитного поля Земли, при изучении радиационных поясов. Недавно в магнитоионосферной обсерватории в поселке Войейково под Ленинградом вступила в строй еще одна террелла — магнитный шар, названный «Магниториумом», который моделирует магнитное поле Земли и, возможно, позволит более глубоко изучить сущность и особенности магнитных аномалий.

Интересной попыткой объяснить, исходя из теории Гильберта, наличие магнитного склонения была теория М. В. Ломоносова, который считал, что земной шар состоит из намагниченных частичек «неодинаковой доброты».

Через двести лет после Гильберта известный немецкий физик Карл Гаусс, в честь которого названа единица индукции магнитного поля, математически вывел зависимость величины земного магнитного поля от точки наблюдения, которая хорошо совпадала с истинным земным полем. Гаусс доказал, что источник земного магнитного поля должен быть обязательно внутри Земли, так как в противном случае форма поля была бы совершенно другой.

Что же является причиной земного магнетизма? Гильберт и его последователи считали, что или вся Земля, или ее ядро представляют собой гигантский шар из магнитного материала.

Эта теория не выдерживает критики, поскольку точно доказано, что в глубинах Земли существует такая высокая температура, при которой по закону Кюри (кстати, открытому самим Гильбертом) ни один материал не может обладать намагниченностью.

Существует другая гипотеза, согласно которой намагниченностью обладают не самые внутренние слои Земли, а ее кора. Вряд ли эта гипотеза является правильной, поскольку в этом

случае кора должна состоять из очень сильно намагниченных материалов, почти не встречающихся в природе. Кроме того, если бы эта гипотеза была правильной, на местах, где толщина коры различна (горные массивы и океаны), должны были бы отмечаться существенно различные значения магнитного поля. А этого не наблюдается.

Третья гипотеза предложена английским физиком Блэккеттом. Блэккетт вывел, ничем не доказанное, чисто интуитивное уравнение связи гравитации и магнетизма, из которого следует, что электрически нейтральная масса, вращаясь или двигаясь прямолинейно, может создавать сама магнитное поле. Блэккетт предложил свое недоказанное уравнение, основываясь исключительно на том, что оно «естественно», «математически красиво». Вскоре было, однако, доказано, что тело,двигающееся по прямой линии, не создает магнитного поля. Блэккетт не был обескуражен и заявил, что во вращающихся телах эффект все-таки должен присутствовать. В качестве доказательства он ссылался на Землю, Солнце и некоторые звезды, у которых к тому времени было найдено магнитное поле типа земного. У всех этих небесных тел отношение магнитного и углового моментов было примерно одинаковым.

Однако триумф Блэккетта продолжался недолго — в сороковых годах было найдено, что у Солнца... нет магнитного поля такого типа, как у Земли. Кроме того, было обнаружено, что некоторые звезды обладают переменными по величине магнитными полями, а время от времени вообще меняют свою магнитную полярность.

Чтобы выпутаться из этого положения, нужно предположить, что скорость вращения этих звезд меняется; кроме того, они время от времени должны менять направление своего вращения, что кажется маловероятным. По-видимому, эти последние открытия серьезно подорвали правдоподобность теории Блэккетта.

Еще один механизм земного магнетизма был предложен советским физиком Я. Френкелем и американским геофизиком Эльзассером, изучавшим магнетизм Земли с 1937 года. Схема Эльзассера, если не вникать в детали, несколько проще схемы Френкеля. Суть ее такова. Эльзассер предполагает, что магнетизм Земли создается протекающими в ее толще токами. Откуда же они берутся? Эльзассер считает, что они создаются в проводящем ток ядре Земли. Если это проводящее ядро вращается в магнитном поле, то в нем, как в первом генераторе Фарадея, должен возникать ток. Все вроде бы получается хорошо. Но вот

небольшая заминка — откуда взялось то поле, в котором вращается проводящее ядро?

Оказывается, по Эльзассеру, это поле создано токами, текущими по ядру. Получается что-то вроде «У попа была собака...» Но, несмотря на это сомнение, в схеме Эльзассера все обстоит довольно правдоподобно. Земля, с его точки зрения, — это гигантский униполярный электрический генератор с самовозбуждением. Генераторы с самовозбуждением часто используются в технике — в них магнитное поле создается самим генератором, а в качестве самого первого «изначального» поля используется остаточное намагничивание, всегда имеющееся в железе. «Генератор» Эльзассера работает по аналогичной схеме.

Сейчас рано еще говорить о правильности этой теории, поскольку и она оставляет многие вопросы неясными.

Почему магнитные полюса Земли несимметричны, не совпадают с геометрической осью и не находятся ни на одной из осей земного шара? Почему Солнце не обладает полем земного типа?

Снова и снова Солнце вмешивается в наши земные дела.

Семь лет назад — 12 ноября 1960 года — это вмешательство было особенно серьезным: на Землю со скоростью 6,5 тысячи километров в секунду обрушилось облако солнечного водорода длиной в 75 миллионов и диаметром в 16 миллионов километров.

Я хорошо помню тот день — компасная стрелка бегала как сумасшедшая, в приемнике слышался только шорох и треск — поймать любую отдаленную станцию было невозможно. Потом в газетах сообщалось, что северные сияния были видны и в средней полосе и были столь яркими, что сияли даже через облака, а летчики все время теряли связь со своими контрольными пунктами. Из Швеции сообщали, что в земле в это время протекали столь сильные блуждающие токи, что сгорала изоляция у кабелей, портились мощные трансформаторы, силовые линии и линии связи и т. д.

Это был год, когда уже спадал максимум солнечной активности, выражающийся обычно в появлении на поверхности Солнца большого числа пятен.

Пятна эти были открыты в 1611 году иезуитским патером Кристофором Шейнером, который, направив на Солнце недавно купленную подзорную трубу, увидел на поверхности светила темные точки. Шейнер доложил об открытии начальству. Провинциальный генерал иезуитского ордена Бузеус в ответ на сообщение Шейнера, подумав, ответил:

— Вернее всего, шалят или твои глаза, или твои стекла, или твое воображение. Лучше всего — помалкивай!

Галилео Галилей тоже не поддержал открытие, заявив:  
«Солнце — глаз мира и не может страдать бельмами!»

В конце концов пятна увидели все. Тут же стали гадать: что это такое?

Сначала решили, что это — вершины высоких солнечных гор, пробившихся сквозь огненные облака.

В 1800 году английский придворный астроном Вильям Гершель предложил следующее объяснение: солнечные пятна — это проступающие через облака участки твердой холодной коры, под которой совсем прохладно. В глубинах Солнца имеется разумная жизнь. Эта идея жила лет сто, хотя с современных позиций очевидно, что солнечная атмосфера начисто выгорела бы в два-три дня, если бы энергия Солнца была бы обусловлена только этим тонким слоем.

По современным представлениям, Солнце — это газообразный раскаленный шар. М. В. Ломоносов так описывал «состояние дел» на Солнце:

Там огненны валы стремятся  
И не находят берегов.  
Там вихри пламенны крутятся,  
Борющиеся множество веков.  
Там камни, как вода, кипят,  
Горящи там дожди шумят.

Описанная Ломоносовым картина, по-видимому, не устарела и на сей день. Особенно ценной в этом стихотворении мне кажется идея о «пламенных крутящихся вихрях». Исходя из современных гипотез, основывающихся на многочисленных магнитных наблюдениях Солнца, его короны и протуберанцев, следует, что в пятнах Солнца существует довольно сильное магнитное поле (открытое в 1908 году американским ученым Хэлом по методике Зеемана) — около трех тысяч эрстед, а на остальной поверхности поле составляет около одного эрстеда. Два соседних пятна это обычно точки входа и выхода из Солнца циркулирующих огненных потоков — именно «пламенных вихрей», обвивающихся вокруг силовых линий магнитного поля пятен. Таким образом, два соседних пятна представляют собой два разноименных полюса магнита. Правильность этой точки зрения подтверждается многочисленными фотографиями солнечных факелов, некоторые из которых приведены на рисунке в конце книги. Они почти в точности повторяют собой привычную картину

магнитных силовых линий (созданную, например, с помощью железных опилок), имеющих около полюсов подковообразного магнита.

Солнечные пятна темнее окружающего огненного фона потому, что их температура на несколько тысяч градусов холоднее. Это происходит, по-видимому, за счет того, что в пределах пятен раскаленный газ вытекает из Солнца вдоль магнитных силовых линий и, расширяясь, охлаждается.

Солнце не имеет, по-видимому, общего магнитного поля такого типа, как земное, хотя некоторые ученые, анализируя форму факелов, склонны приписать ему таковое. Если это предположение верно, то Солнце представляет собой намагниченную сферу, на поверхности которой существует магнитное поле порядка 25—50 эрстед, то есть в 50—100 раз большее, чем магнитное поле Земли, но в 100 раз меньше, чем поле в солнечных пятнах.

Исследования, проведенные с 1963 года в Крымской обсерватории, обсерватории Маунт-Вилсон и других, скорее говорят о том, что общее магнитное поле Солнца раздроблено на множество мелких элементов, беспорядочно разбросанных на поверхности Солнца и имеющих различную напряженность магнитного поля.

Исследования «тонкой» структуры магнитного поля Солнца показали, что магнитное поле солнечных пятен также неоднородно — в них есть «горы» и «провалы», а также отдельные «жгуты» силовых линий. Волокнистой структурой магнитного поля обладают и так называемые активные области Солнца. Это, как показали сотрудники Крымской обсерватории, позволяет объяснить, каким образом магнитная энергия Солнца превращается в тепловую (образование солнечных вспышек).

Результаты последних исследований с помощью советских и американских межпланетных космических станций показали, что солнечная система в целом тоже обладает магнитным полем. Это поле имеет замысловатую спиральную форму и вращается синхронно с Солнцем.

Из планет солнечной системы сильное магнитное поле открыто лишь у Юпитера. Оно составляет примерно 100 эрстед, и таким образом в двести раз больше земного.

У Марса и Венеры существенного магнитного поля тока не обнаружено так же, как и у Луны. Об этом говорят результаты исследований, проведенных как нашими, так и американскими межпланетными станциями.

Однако у спутника Юпитера Ио, по размерам, массе и рас-

стоянию от основной планеты являющегося двойником нашей Луны, с помощью изящных исследований, проведенных на Земле, были обнаружены признаки сильного магнитного поля. Это таинственное выделение природой Ио из семьи похожих с ней планет еще ждет своих исследователей.

Магнитное поле существует и в космическом пространстве, правда, там его напряженность ничтожно мала. Однако эти магнитные поля по заключению астрономов, по-видимому, играют колоссальную роль в образовании галактических структур таких, как наша.

Наша спиральная Галактика, например, простирается на миллионы световых лет и вся целиком вместе со своими многочисленными звездами совершила со времени своего возникновения 10 миллиардов лет назад около пятидесяти оборотов. Трудно объяснить иначе, чем наличием магнитных сил или каких-то других сил тот факт, что Галактика за это время не распалась.

Такие представления, насчитывающие десять лет, подтверждались наблюдениями с помощью оптических и радиотелескопов. Совсем недавно благодаря радиотелескопам было обнаружено ориентированное магнитное поле в «окрестностях» нашей Галактики, являющееся, возможно, «скелетом» той спиральной ветви галактики, в которой находится наша солнечная система.

Магнитное поле Галактики было впервые одновременно обнаружено физиками Хилтнером из обсерватории Мак-Дональд в США и Холлом из американской военно-морской обсерватории. Они обнаружили, что свет от некоторых звезд приходит на Землю сильно поляризованным, так как если бы он прошел через поляризационный фильтр (того типа, который применяется опытными фотографами для снятия бликов при съемке против Солнца). Кроме того, Хилтнер и Холл обнаружили, что синяя часть спектра звездного света была отфильтрована, что является явным признаком прохождения света через межзвездную пыль. Таким образом, стало ясно, что поляризованность света вызывается не свойствами звезд, а возникает при движении света к Земле.

Такую поляризацию звездного света можно объяснить, если предположить, что межзвездное пространство заполнено не «шарообразными» пылинками, а пылинками, вытянутыми в каком-то одном направлении за счет межзвездного магнитного поля. Рассчитанная напряженность поля равна примерно 10—100-миллионным долям эрстеда.

Измерение напряженности магнитного поля звезд и туманно-

стей может быть проведено при изучении спектра их светового и радиоизлучения. Как показал Зеeman, спектральные линии вещества, излучающего в присутствии магнитного поля, раздвигаются. Чем больше магнитное поле, тем сильнее раздвоение. Это дает возможность, изучая световой и радиоспектр излучения объекта, определить его магнитное поле.

Наличие магнитного поля позволяет объяснить и некоторые свойства туманностей, например их волокнистость. Газ светлых туманностей, наэлектризованный действием звездного света, может двигаться только вдоль силовых линий магнитного поля. Поэтому волокнистая структура туманностей часто напоминает структуру поля магнита, изучаемого при помощи железных опилок.

Радиоизлучение галактик тоже можно объяснить, исходя из наличия в них магнитного поля. Галактики заполнены сильно разреженным газом, атомы и электроны которого, тормозясь в магнитном поле галактики, излучают радиоволны.

Известным советским астрономом Б. Воронцовым-Вельяминовым было открыто и сфотографировано множество «взаимодействующих» галактик.

Одни пары соединены узкими длинными переминышками. Другие имеют «хвосты», направленные в противоположные стороны. Воронцову-Вельяминову удалось показать, что такие следствия взаимодействия, раньше объяснявшиеся «приливными», то есть гравитационными силами, на самом деле могут возникать только при наличии магнитного поля.

Б. Воронцов-Вельяминов собрал и интересную коллекцию фотографий одиночных галактик. На некоторых из них ветви галактик почти полностью повторяют форму силовых линий намагниченного шара или бруска. Газ, двигаясь вдоль силовых линий, «выходит» из одного полюса галактики и входит в другой. Точные расчеты показывают, что даже весьма слабое магнитное поле — в тысячные и миллионные доли эрстеда — может в течение сотен миллионов лет поддерживать причудливые формы галактик от разрушающего воздействия гравитационных сил.

Однако напрасно было бы думать, что в холодных просторах вселенной существуют лишь очень слабые, хотя и исполинские по размерам магнитные поля. Рано еще человеку гордиться тем, что, создав поле в двадцать пять миллионов эрстед, он стал на голову выше природы.

Академик В. Л. Гизбург предложил модель возникновения сверхзвезд, основывающуюся на том, что газопылевое облако, сжимающееся в звезду, обладает слабым магнитным полем. При

сжатии облака сгущаются в силовые линии. По достижении «критического гравитационного радиуса» напряженность магнитного поля в облаке должна превышать миллиард эрстед! Быстрые электроны, попавшие в это поле, резко тормозятся, излучая свет и радиоволны. Поэтому сверхзвезды и сияют ярче всех звезд нашей Галактики, вместе взятых.

Ну, а если спуститься с космических высот в наш обычный мир и еще дальше — в мир атомов и атомных ядер? Существуют ли там магнитные поля?

А как же! Магнитное поле в атомном ядре, по расчетам физиков, равно примерно миллиону эрстед!

Магнитный, магнитный, магнитный мир!

Я уже вижу, как читатель, которому автор надоед своими доказательствами всеобщей магнитности мира, хватается за сердце...

Совершенно напрасно! Сердце — тоже магнит, хотя его действие в миллион раз слабее действия магнитного поля Земли!

А может быть... в миллион раз сильнее?



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Никогда еще не было во всей истории человечества периода, в котором мировоззрение и благосостояние человека в такой сильной степени зависели бы от прогресса науки, как сейчас.

В огромном арсенале средств современной науки магнит занимает совершенно особое место. Без него невозможно никакое исследование, никакая наука, никакая промышленность, никакая цивилизованная жизнь. Если вспомнить еще и о том, что, не обладая Земля магнитным полем, она была бы сейчас испепеленной радиацией равниной, как Луна или Марс, то можно даже почувствовать к магнитам нечто вроде благодарности.

Но, кроме благодарности, магнит достоин и уважения — ведь если мыслить в исторических масштабах, то приходится сознаться, что мы немного еще можем сказать о природе притяжения магнита.

Почему магнит притягивает?

Этот вопрос еще сотни лет будет волновать умы мальчишек и ученых. Не станем переоценивать своих знаний. Кто это делает, часто попадает впросак. Вспомним, что писалось об электричестве в 1755 году в одном лондонском еженедельнике:

«Электричество — сила, хорошо изученная человеком. Ее с успехом применяют для лечения болезней, эта сила способна ускорять развитие растений».

Это писалось до Фарадея, Ампера, Максвелла, когда люди, как сейчас можно смело утверждать, почти ничего не знали об электричестве. А теперь, во второй половине двадцатого века, вряд ли какой-нибудь ученый найдет в себе смелость утверждать:

«Электричество — сила, хорошо изученная человеком».

Мы много знаем сейчас об электричестве и магнетизме и с каждым днем узнаем все больше и больше. С каждым годом становятся решенными все больше проблем. Но, как раздвигающиеся горизонты, за одной проблемой встают другие, не менее сложные и интересные. Жизнь всегда будет обеспечиваться загадками. И наряду с самыми сложными — загадкой жизни и загадкой вселенной — загадка магнита всегда будет давать пищу для любознательного ума.

Мы с каждым днем все больше знаем о магните и каждую

новую крупицу знания ставим себе на службу. Ведь всего за каких-нибудь двести-триста лет человечество смогло усилить магнитное поле, имеющееся в его распоряжении, в миллион раз!

Среди людей, которым посчастливилось зерно за зерном засеять это благодатное поле и свять с него первые, но обильные урожаи, в созвездии ученых, проливших первый свет на природу таинственного поля,— много наших соотечественников и современников. Вы встретили многих из них на страницах книги, как могли бы встретить их на улице. Некоторые из них совсем молоды, хотя руководят работами целых коллективов, в числе которых есть, наверное, новые Гильберты,

Фарадеи, Ломоносовы, Капицы. Это им предстоит

решить то, что сегодня еще загадка. И дух

захватывает от мысли о том, сколько

интересного ждет еще исследовате-

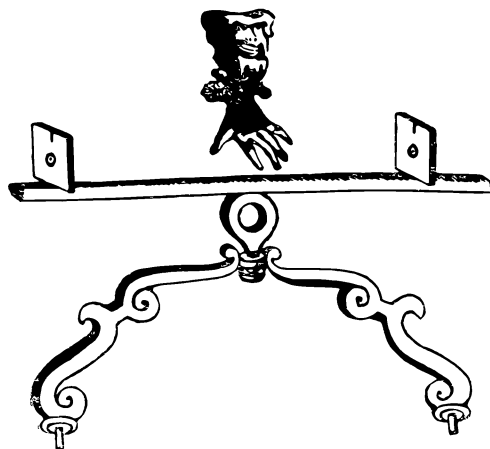
лей, работающих над проблемой,

которой занимались и не-

сколько тысяч лет

назад,— проблемой

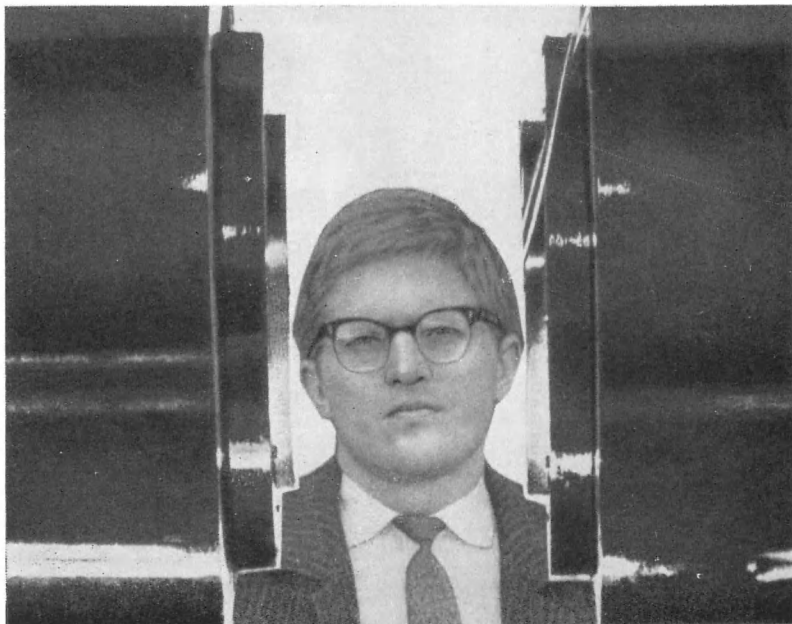
магнита.



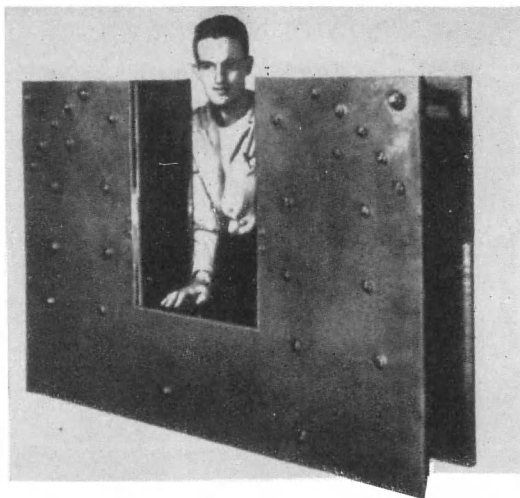




Вильям Гильберт Колчестерский — первый человек, взглянувший на магнит глазами ученого.

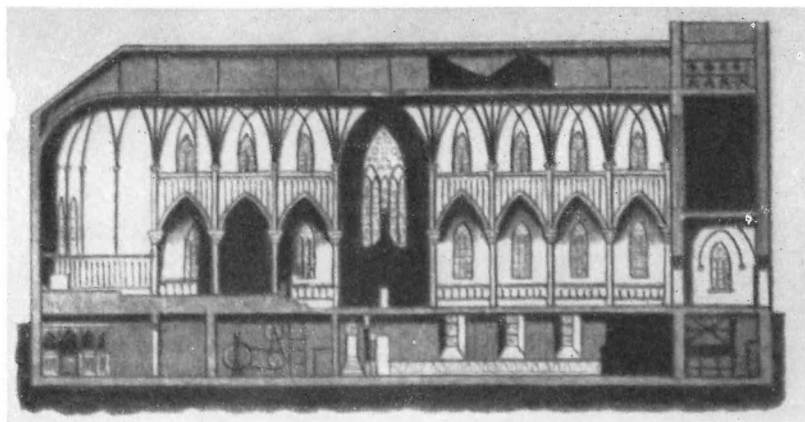


Человек, находящийся между полюсами сильного магнита, никак не ощущает этого.

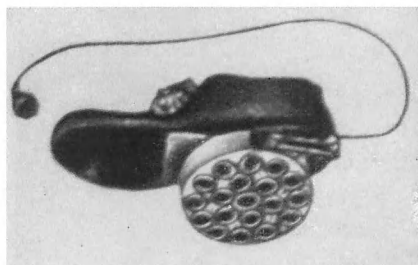


Самый большой постоянный магнит,  
используемый в атомных исследова-  
ниях.

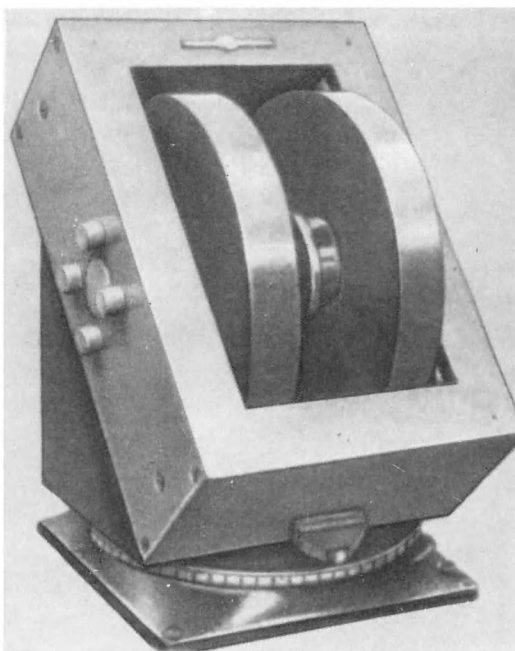
Магнитный орган был установлен сто лет назад  
в одном из соборов.





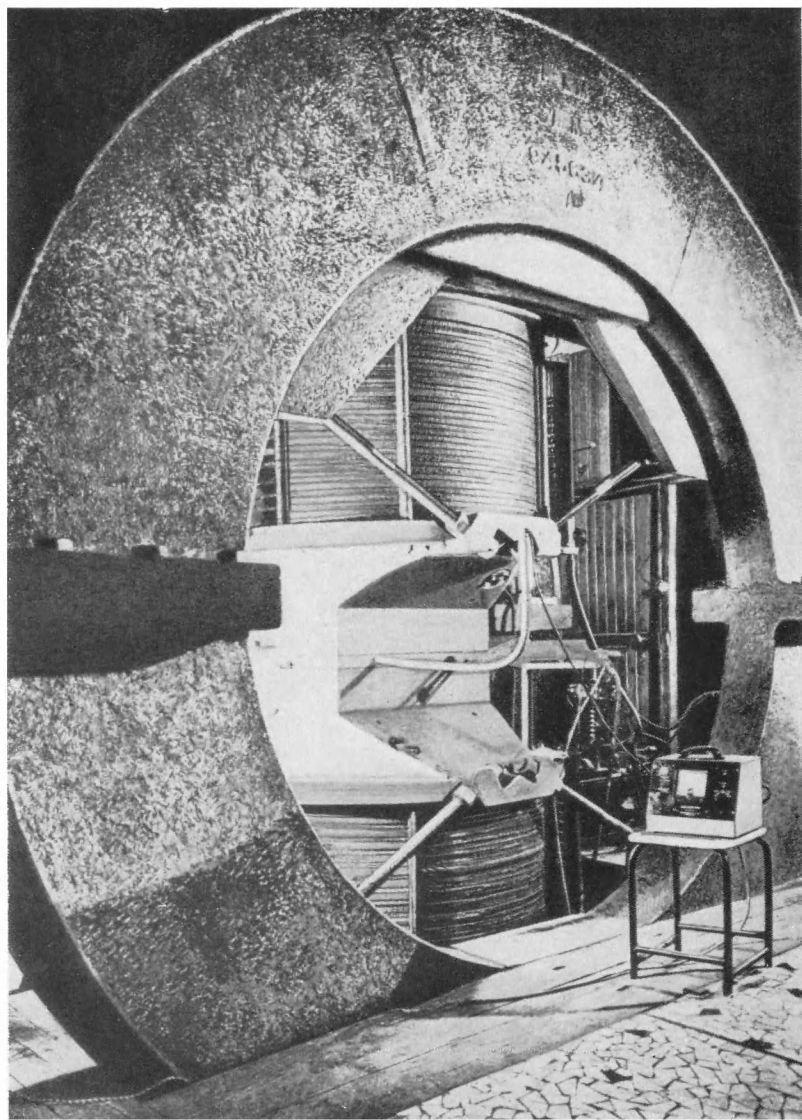


◀ Испытания магнитной обуви. ▲

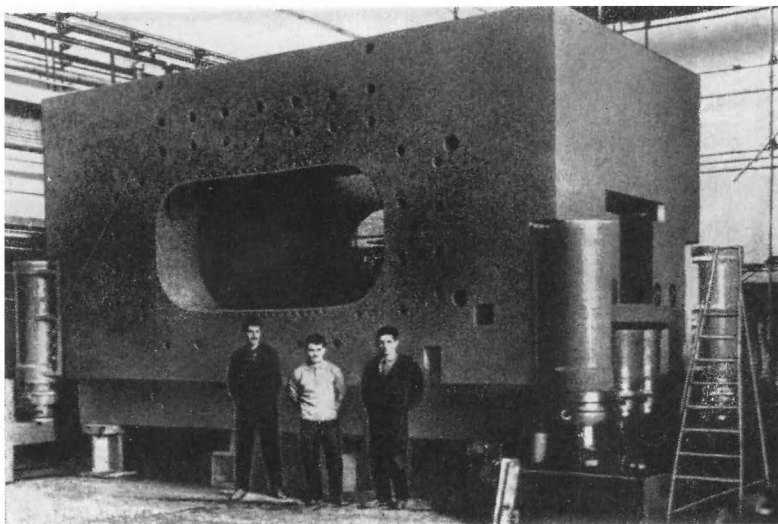


Стандартный современный исследовательский  
электромагнит.



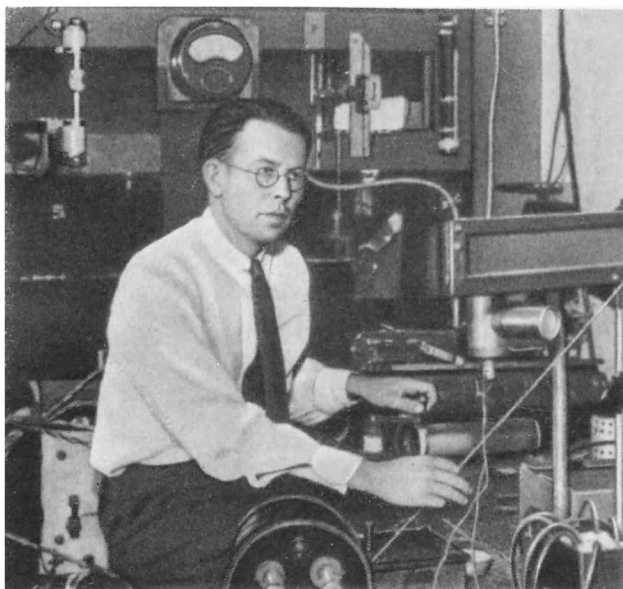


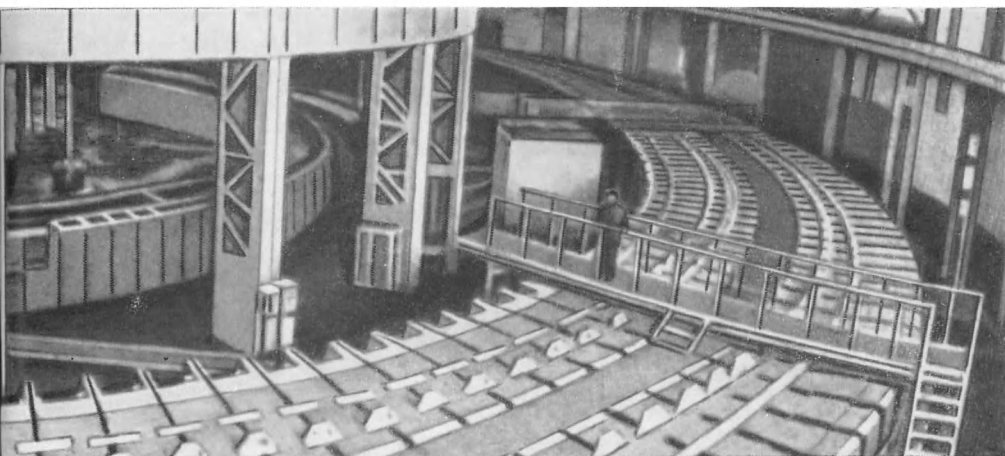
- ▶ Исследовательский электромагнит для проведения экспериментов в сильных магнитных полях и при больших давлениях.



Ядро магнита двухметровой жидководородной камеры.

Эрнест Орlando Лоуренс — человек,  
который сделал магниты чудови-  
щами.

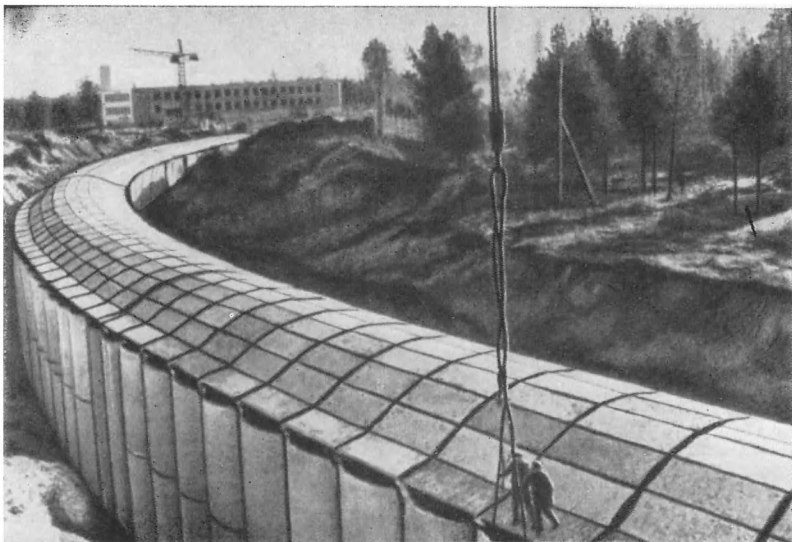




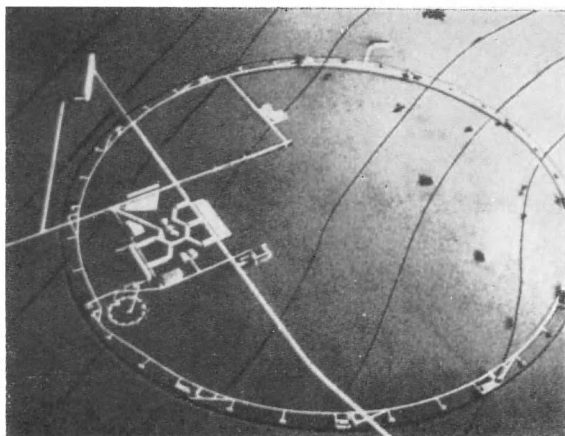
Электромагнит дубненского синхротрона.



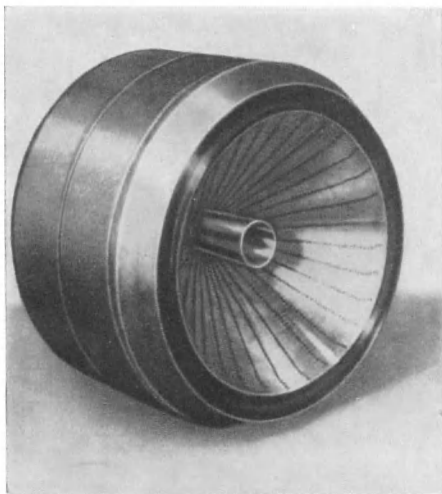
Вид брукхэйвенского ускорителя на 30 Гэв  
с птичьего полета.



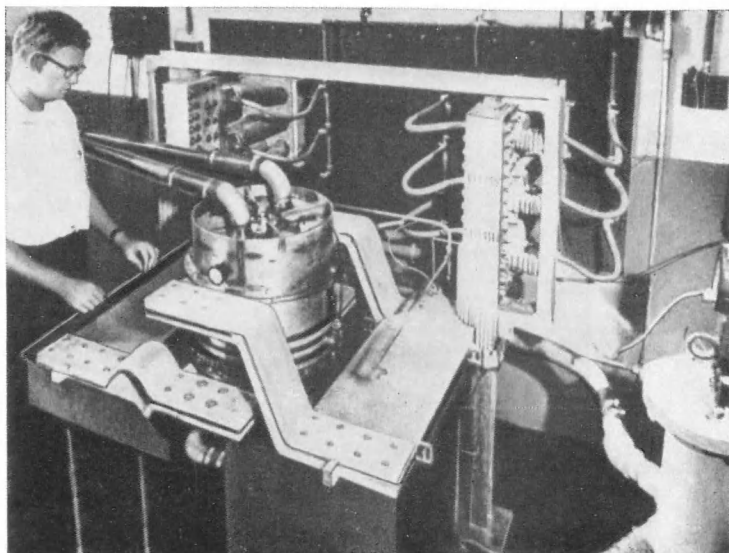
Серпуховский ускоритель в процессе строительства.



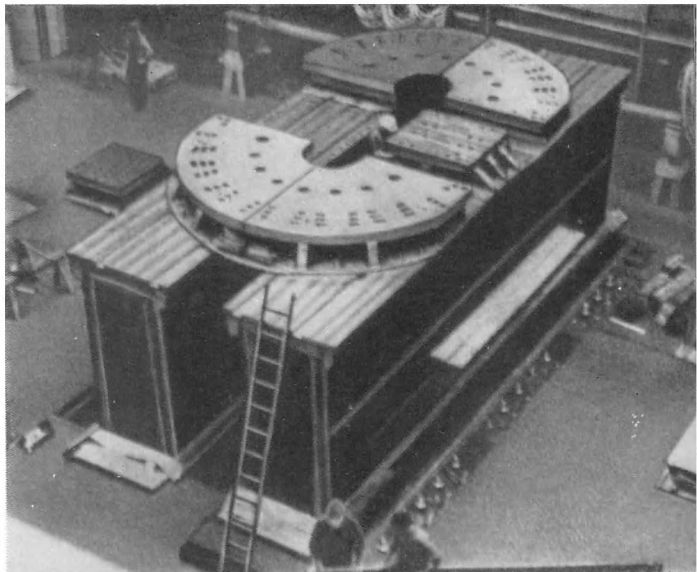
Проект ускорителя на 300 Гэв. Диаметр кольцевого магнита — 2,4 километра. Магнит будет состоять из многих отдельных секций.



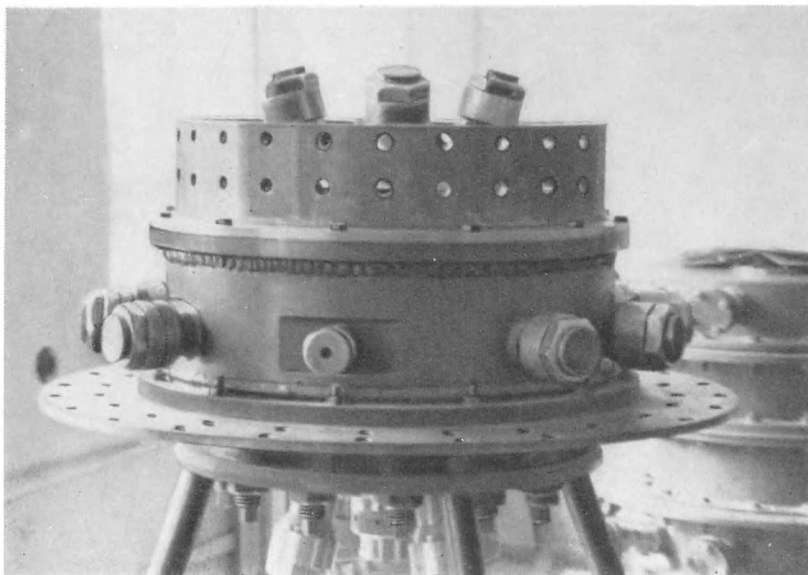
▲  
Соленид Кольма.  
▼



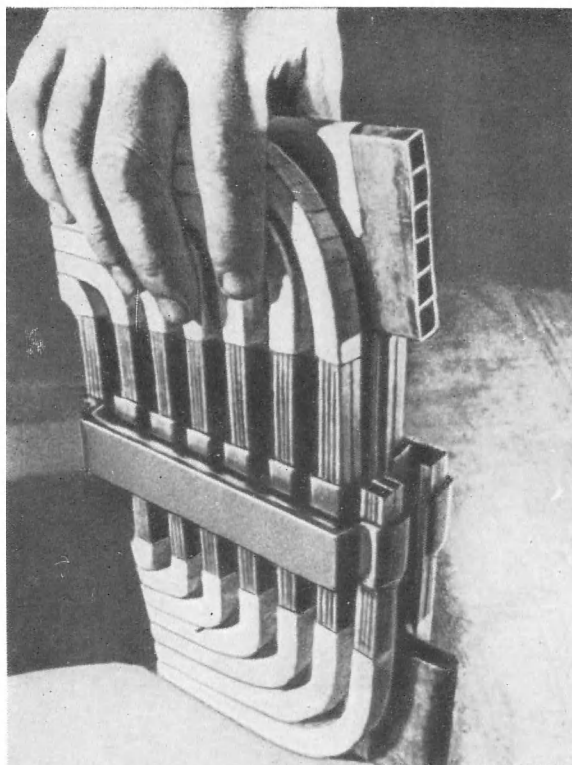
В некоторых типах обмоток и магнитных систем можно кардинально снизить механические усилия. На снимке — магнитная система, в которой обмотки практически освобождены от механических усилий.



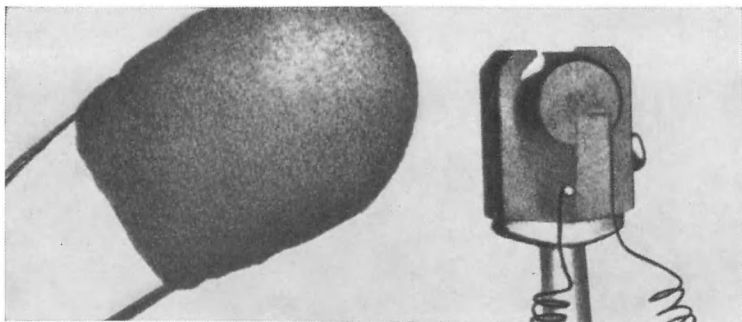
Самый мощный соленоид в СССР. С его помощью можно достигнуть постоянного магнитного поля напряженностью 200 000 эрстед.







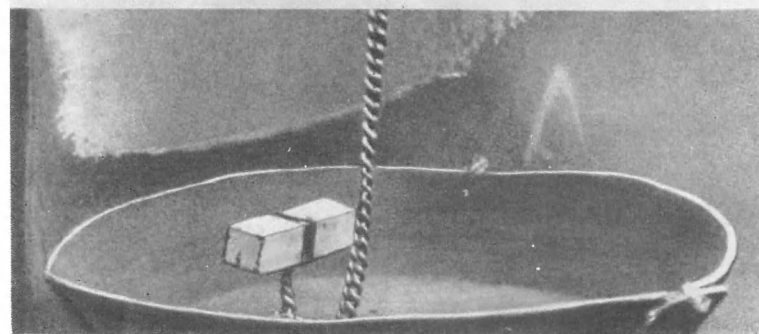
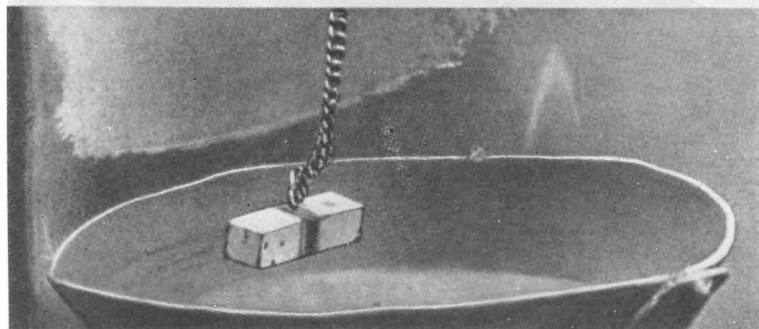
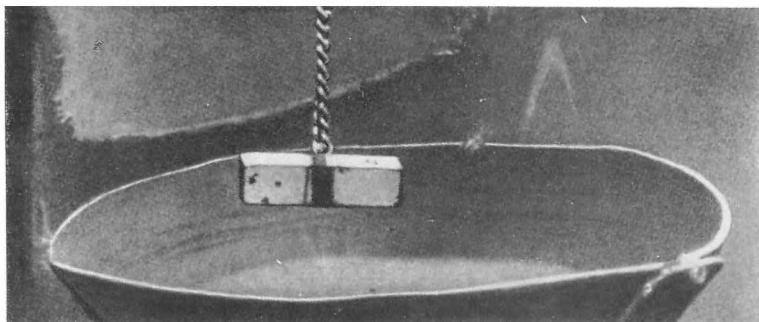
Одна из систем охлаждения турбогенераторов.  
По трубкам, встроенным внутри обмотки, пропу-  
скается водород.



Миниатюрный моторчик д'Эйнса. Рядом с моторчиком — булавочная головка.

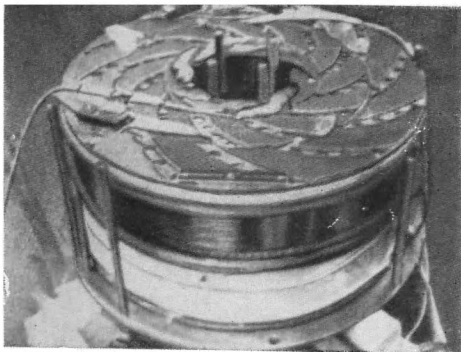


Каммерлинг-Оннес — голландский физик, открывший явление сверхпроводимости.

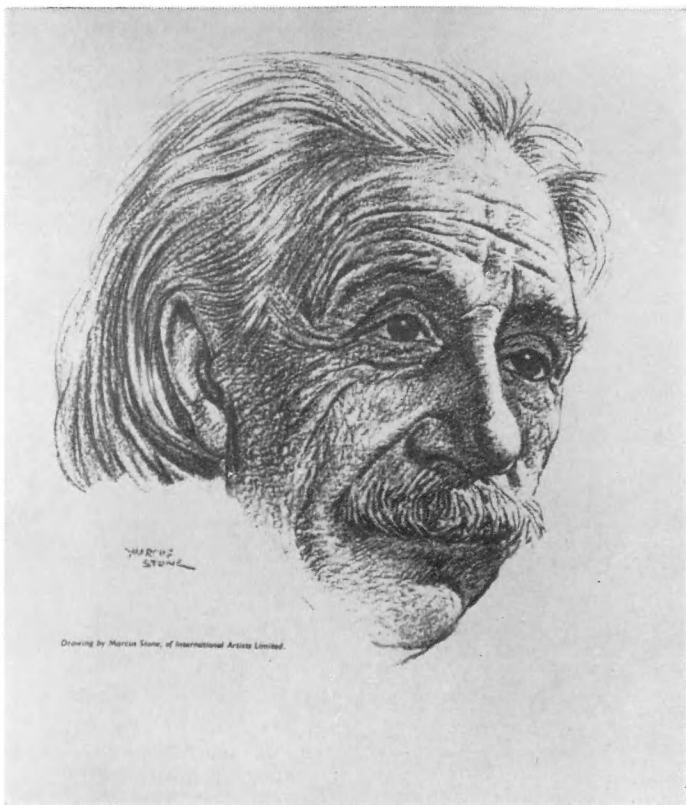


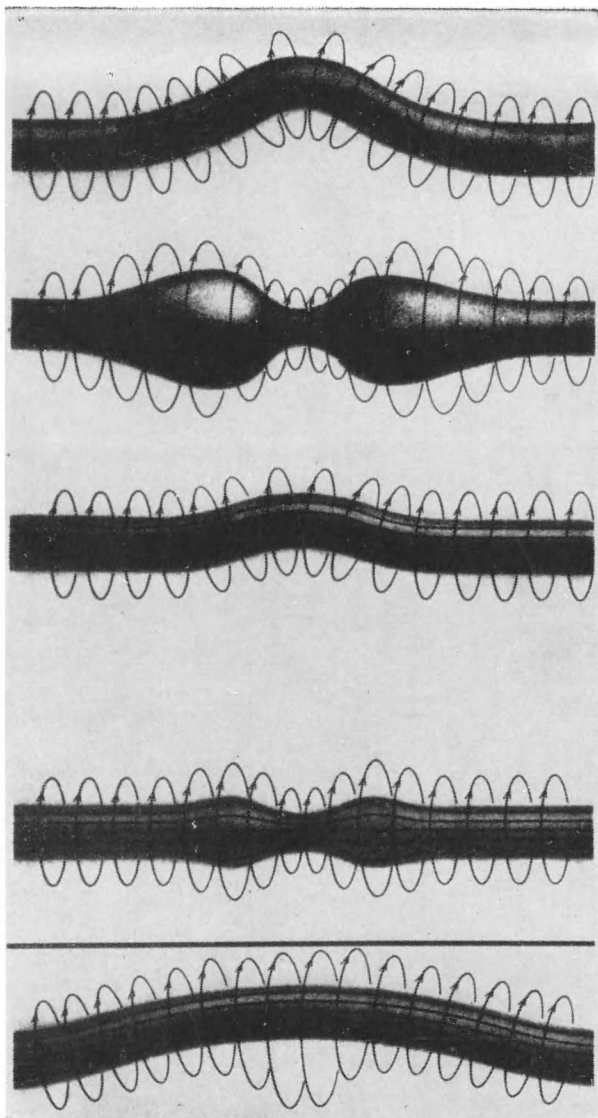
Летающий магнит.

Сверхпроводящий магнит с магнитным полем около 70 000 эрстед, создаваемым в объеме диаметром 20 сантиметров.

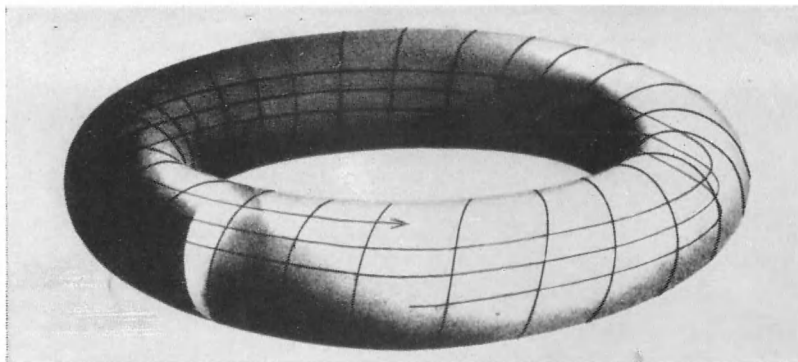


Альберт Эйнштейн.

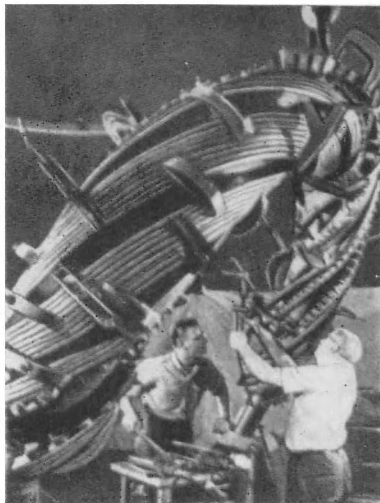




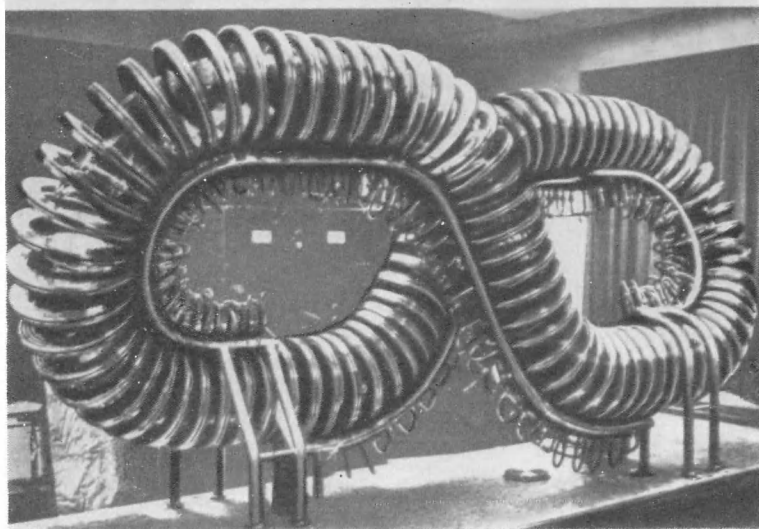
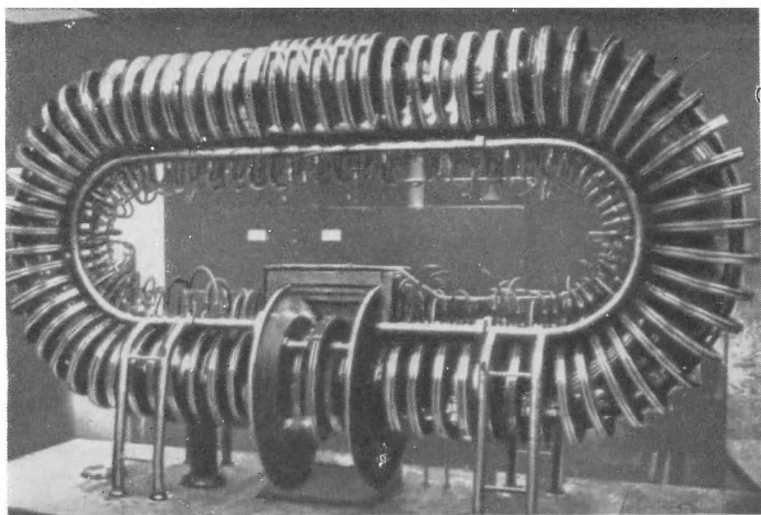
Неустойчивости «пинча» и метод их преодоления.  
Если вдоль плазменного шнура направить магнитное поле (продольные линии), то наложенное поле не даст шнуру «слопаться» или перерваться.



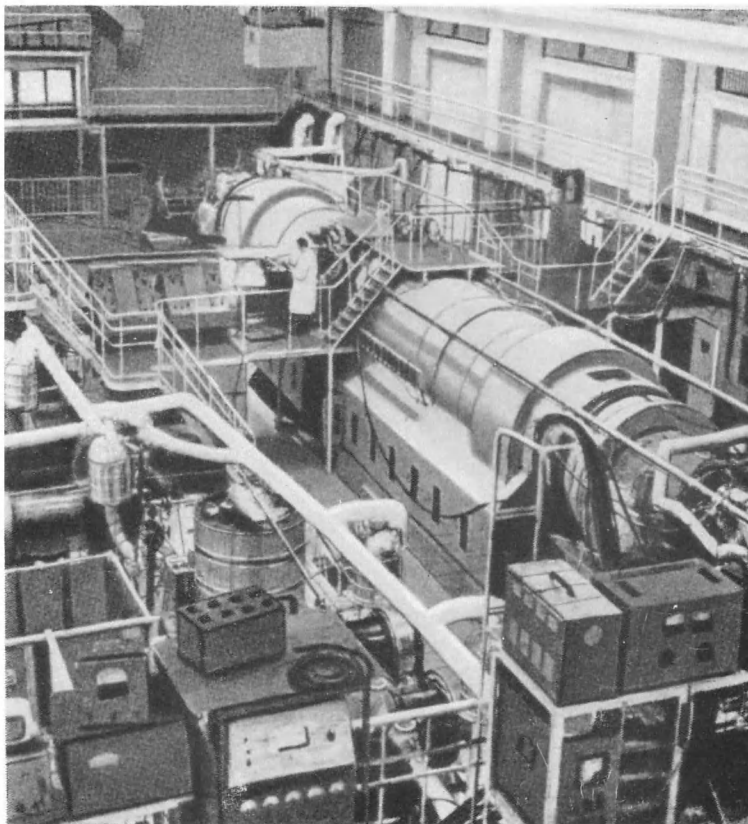
Вращательное преобразование силовых линий. Обмотки стелларатора выполнены таким образом, чтобы силовые линии (показаны стрелкой) образовали не круг, а тороидальную поверхность. Это дает возможность избежать разделения положительных и отрицательных частиц.



Обмотки стелларатора.

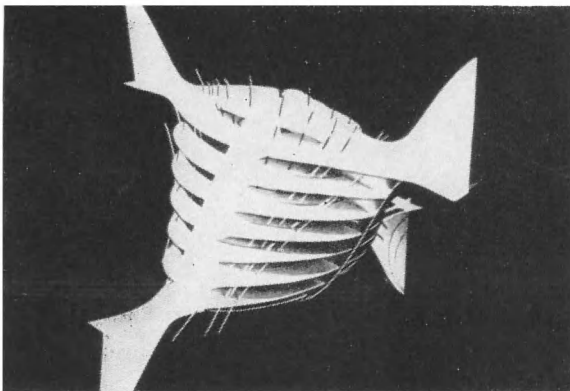


«Огра-1».



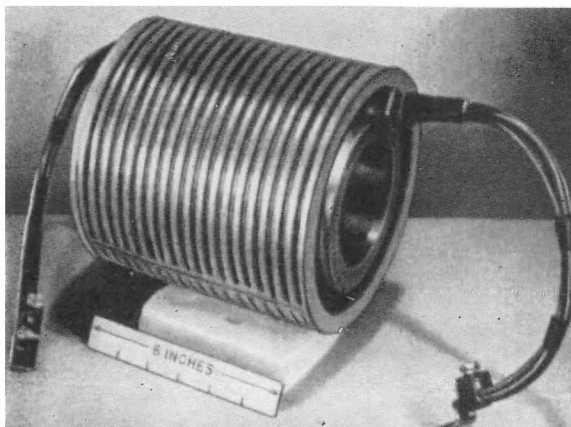
◀ Два типа стеллараторов.



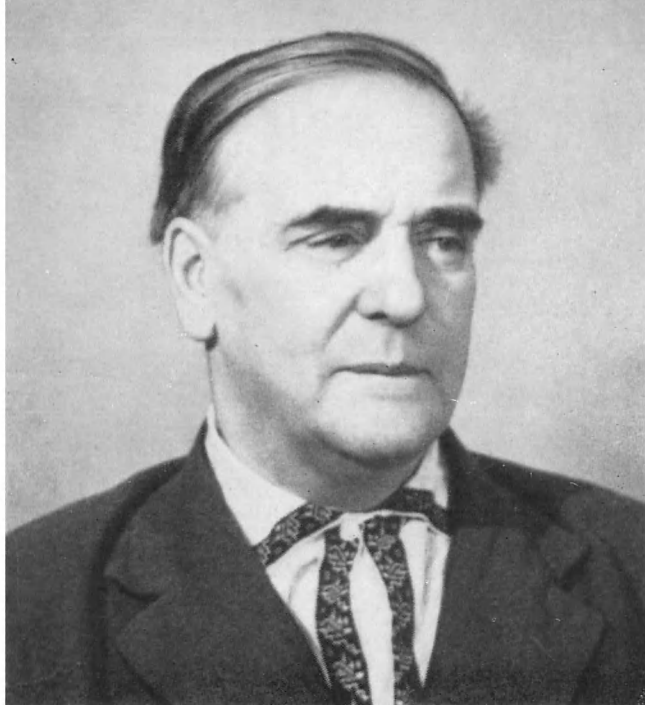


Может быть, в таких изощренных конфигурациях магнитного поля — ключ к решению проблемы управляемого термоядерного синтеза.

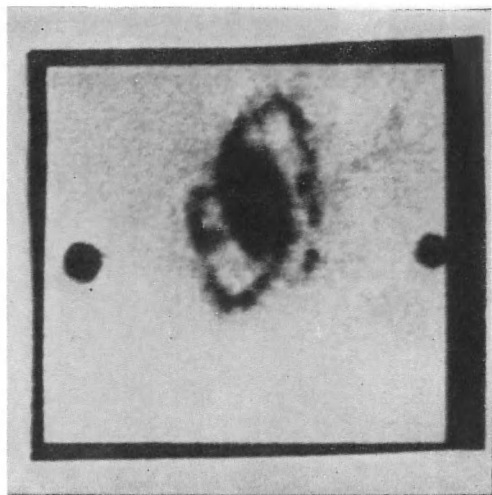
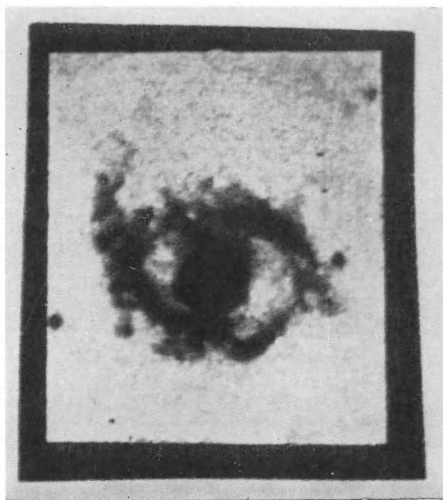
Концентратор магнитного потока.



Академик  
П. Л. Капица.



Форма некоторых галактик напоминает форму силовых линий брускового магнита.



## ОГЛАВЛЕНИЕ

### Часть первая. Геркулесов камень

Подарок императора Чеу Куна . . . . .	3
Гильберт . . . . .	9
Первое применение магнита — слабительное . .	17
Рукотворные магниты . . . . .	27
Рождение гиганта . . . . .	37
Железные мышцы магнитов . . . . .	49
Электромагниты в научных лабораториях . . .	65

### Часть вторая. Сверхоружие науки

Пирамиды ядерного века . . . . .	77
Серебряной рекою опоясан... . . . .	99
Где вы, таинственный П. М.? . . . .	109
На дне температурного колодца . . . . .	123
Джин в магнитной бутылке . . . . .	147
Сверхоружие науки . . . . .	163
Магнитный, магнитный, магнитный мир . . . .	177
Заключение . . . . .	190

**Владимир Петрович Карцев**

### ТРАКТАТ О ПРИТЯЖЕНИИ

Редактор **И. М. Поспелова.**  
Художественный редактор **В. В. Щукина**  
Технический редактор **Т. Ф. Клапцова**  
Корректор **В. Е. Иовлева**

Сдано в набор 28/II-67 г. Подписано к печати 22/I-68 г. Формат бум. 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Физ. печ. л. 12+16 вкл. Уч.-изд. л. 12,96. Изд. инд. НА-21. А05010. Тираж  
36 000 экз. Цена 62 коп. Бум. № 1.

Издательство «Советская Россия». Москва, проезд Сапунова, 13/15.

Книжная фабрика № 1 Росглавополиграфпрома Комитета по печати при Совете  
Министров РСФСР, г. Электросталь Московской области, Школьная, 25.  
Заказ № 275.

Цена 62 коп.



Ампер, Вольт, Эрстед, Фарадей, Максвелл, Араго

В. л. Карцев ТРАКТАТ О ПРИТЯЖЕНИИ

вл. карцев

ТРАКТАТ

О  
ПРИ  
ТЯЖЕ  
НИИ