**Петр Капица**

Электромагнит можно перегружать, если увеличить ток, обтекающий обмотку. Форсаж это последний резерв на пути достижения сверхсильных полей, поэтому магнитные рекорды обычно принадлежат создателям импульсных систем.

Это направление берет начало от Вольта, который, заинтересовавшись электрическими рыбами, попробовал построить что-то подобное живой природе. Нильский сомик оказался слабым, гораздо лучше рыба Торпедо гигантский электрический скат. Создавая разряд напряжением 50...60 В, он может убить зашедшего в воду теленка, электрический угорь Амазонки создает импульс напряжением до 500 В.

До Вольта уже были известны такие способы создания электричества, как натирание стекла шерстью, лейденская банка, нагрев турмалина. Сам Вольта научился электризовать жидкости кипячением и химическими реакциями, потом он построил вольтов столб, опустив два разнородных металла в едкую жидкость, однако этот источник не имел с Торпедо ничего общего, хотя изобретатель придал своей конструкции форму рыбы.

Потом природой электрического удара угря занялся Фарадей. 6 декабря 1838 г. он доложил результаты опытов перед Королевским обществом. Фарадей использовал два металлических электрода, один конец которых касался рыбы, а к другому были присоединены медные проводнички. Они, в свою очередь, крепились к небольшому соленоиду проволочной спирали, внутри которой помещалась железная проволока. Во время разряда угря соленоид создавал относительно сильное магнитное поле, которое намагничивало проволочку. По расположению магнитных полюсов проволочки Фарадей определял полярность напряжения рыбы. Этот эксперимент долго оставался экзотическим эпизодом в истории физики. И лишь много лет спустя всерьез начал заниматься изучением импульсных магнитных полей замечательный советский физик академик П. Л. Капица.

Петр Леонидович Капица родился в 1894 г. в Кронштадте. Он окончил Петроградский политехнический институт и в 1921 г. был послан в Лондон в составе первой советской научно-промышленной делегации. Петр Леонидович и не предполагал тогда, что долго проживет в Англии, создаст там собственную школу и превратится из скромного доцента в ученого с мировым именем. Большую роль во всем этом сыграл другой член делегации, известный физик А. Ф. Иоффе. Это он послал Капицу в Кембридж просить место в лаборатории знаменитого физика Э.Резерфорда. Однако Резерфорд заколебался: в его сургучно-веревочной, хотя и блестящей ядерной лаборатории уже работало 30 стажеров. Говорят, что Капица тогда заметил: 30 и 31 различаются примерно на 3%; поскольку Вы всегда предостерегаете против рабской точности измерений, такая трехпроцентная разница вовсе не будет Вами замечена. Правильна ли эта версия, сказать трудно, но так или иначе Капица остался у Резерфорда (с условием не вести красную пропаганду), и вскоре скромный стажер, плохо знающий английский язык, стал близким к Резерфорду человеком, имеющим свою лабораторию. Вслед за Фарадеем Капица обратился к импульсным магнитным полям, задумав довести их до небывалой силы.

Вот история восхождения молодого советского физика в Кембридже, в Кавендишской лаборатории Резерфорда, описанная им самим в письмах к матери О. И. Капице.

12 августа 21-го года.

...Вчера в первый раз имел разговор на научную тему с профессором Резерфордом. Он был очень любезен: повел к себе в комнату, показывал приборы. В этом человеке, безусловно, есть что-то обаятельное, хотя порою он и груб.

1 ноября 21-го года.

...Результаты, которые я получил, уже дают надежду на благополучный исход моих опытов. Резерфорд доволен, как передавал мне его ассистент. Это сказывается на его отношении ко мне. Когда он меня встречает, всегда говорит приветственные слова. Пригласил в это воскресенье пить чаи к себе, и я наблюдал его дома. Он очень мил и прост... Но... когда он недоволен, только держись, так обложит, что мое почтение.

Для изучения свойств альфа - частиц П. Л. Капица предложил помещать камеру Вильсона в магнитное поле. В нем траектория заряженной частицы искривляется, причем радиус искривления зависит от импульса частицы.

29 ноября 1922-го года.

Для меня сегодняшний день до известной степени исторический... Вот лежит фотография на ней только три искривленные линии полет альфа - частицы в магнитном поле страшной силы. Эти три линии стоили профессору Резерфорду 150 фунтов стерлингов, а мне и Эмилю Яновичу трех с половиной месяцев усиленной работы. Но вот они тут, и в университете о них все знают и говорят. Странно: всего три искривленные линии! Крокодил очень доволен этими тремя искривленными линиями. Правда, это только начало работы, но уже из этого первого снимка можно вывести целый ряд заключений, о которых прежде или совсем не подозревали, или же догадывались по косвенным фактам. Ко мне в комнату в лабораторию приходило много народу смотреть три искривленные линии, люди восхищались ими...

4 декабря 1922-го года.

Я эти дни был что-то вроде именинника, 2-го в субботу был прием у проф. Дж. Томсона по случаю приезда голландского физика Зеемана. Конечно, надо было напялить смокинг. Я говорил с Зееманом, и меня представляли примерно таким образом, что это, дескать, такой физик, который решает такие проблемы, которые считаются невозможными (для решения). И эти генералы меня трепали около 20 минут, пока я не ушмыгнул в угол... Сегодня Зееман и лорд Релей (сын) были у меня в лаборатории и смотрели мою работу...

15 июня 1923-го года.

Вчера был посвящен в доктора философии... Мне так дорого стоил этот миг, что я почти без штанов. Благо Крокодил дал взаймы, и я смогу поехать отдохнуть...

Проведя серию экспериментов в магнитных полях до 43 тыс. Э (4,3 Тл), Капица решил распространить измерения на более сильные поля. Для этого необходимо было создать соленоиды, поле которых превышало бы прежнее примерно в 10 раз.

Основные трудности при создании сильных полей заключаются в том, что для этого необходим источник тока огромной мощности, кроме того, существует опасность разрушения соленоида при нагревании. Для решения этих проблем Капица предложил создавать сильные магнитные поля на очень короткое время в течение которого можно еще провести необходимые измерения и в то же время избежать разрушения соленоида.

Известно, что любая обмотка обладает тепловой инерцией: она не может мгновенно нагреться до температуры плавления даже под влиянием очень большого тока. В системах, работающих кратковременно, упрощается проблема источника сильного тока. Поэтому в качестве такого источника можно использовать устройства, способные дать мгновенный мощный разряд, следующий за относительно продолжительным периодом зарядки. Таких устройств довольно много. Можно, например, использовать электрическую энергию, накопленную в конденсаторной батарее, работающей при разрядке практически в режиме короткого замыкания. Можно воспользоваться магнитной энергией, накопленной в магнитном поле трансформатора. По расчетам Капицы, для получения магнитного поля 50 Тл понадобится трансформатор с малым числом витков на вторичной обмотке, с сердечником длиной 2...3 м и диаметром 30...40 см.

Модельный эксперимент с использованием магнитного поля трансформатора был без промедления проведен П. Л. Капицей вместе с известным английским физиком П. М. С. Блэкеттом. Эксперимент оказался неудачным. Выяснилось, что быстро механически разорвать первичную цепь трансформатора почти невозможно: при разрыве появляется дуга, и энергия намагниченного железа, вместо того чтобы обрушиться лавиной во вторичную цепь, возвращается в первичную и выделяется в дуге.

Конденсаторы также оказались непригодными, 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 минимальными. С помощью новых аккумуляторных батарей при их коротком замыкании удалось мгновенно получить ток 7 тыс. А и мощность 1000 кВт. Разряжая батарею на один из соленоидов с внутренним диаметром 1 мм, П.Л. Капица получил на 0,003 с (пока соленоид не разрушился) магнитное поле 50 Тл. С помощью этой батареи было испытано множество соленоидов самых разнообразных конструкций. В одном из соленоидов, навитом медной лентой, можно было проводить измерения в поле до 13 Тл. Когда же этот соленоид поместили на время опыта в жидкий азот, оказалось возможным проводить регулярные измерения в магнитном поле с индукцией 25 Тл. Это было тем максимумом, которого удалось в то время добиться с помощью аккумуляторов. Для получения больших полей необходимо было искать другой, более мощный источник электроэнергии, который должен был давать мощность порядка 50 тыс. кВт в течение времени, пока обмотка не нагреется до 150 С (тепловой предел электроизоляции), т.е. в течение 0,01 С.

В январе 1923 г. в Лондоне П. Л. Капица познакомился с молодым советским инженером М. П. Костенко, в то время работавшим в Англии. Костенко, как и Капица, был инженером-электромехаником по образованию и окончил тот же Политехнический институт. Вскоре они подружились. Петр Леонидович предложил своим новым друзьям супругам Костенко вместе съездить в отпуск во Францию. Он помог им получить французские визы, и они вместе отпраздновали в Париже День взятия Бастилии.

Интересно, что в то время Костенко как раз занимался теми вещами, которые могли заинтересовать Капицу, он разрабатывал, в частности, электромагнитный молот и электромагнитную пушку специализированные электромеханические системы, важным элементом которых была электрическая машина, работающая в режиме короткого замыкания.

Для опытов Капицы нужны были большие токи на весьма небольшие моменты времени. И он подумывал о токах короткого замыкания. Костенко, уже работавший с генераторами, действующими в условиях коротких замыканий (электромагнитный молот), предложил использовать для этой цели большие всплески тока, возникающие при внезапном коротком замыкании синхронных генераторов. В качестве нового источника большой мгновенной мощности можно было взять быстроходный синхронный генератор, чтобы использовать в течение небольшого промежутка времени запасенную ранее электромагнитную и кинетическую энергию ротора.

Костенко мастерски подобрал параметры необходимого генератора, получив максимально возможные для машины заданных габаритов всплески тока и соответствующие магнитные поля.

Капица ознакомил с проектом руководителя Кавендишской лаборатории. Профессор Резерфорд высоко оценил идею эксперимента и даже предположил возможность создания с помощью ударного генератора магнитных полей порядка 700 Тл (!) и тем самым, воздействовав на внутреннее поле атома и заставив все электроны вращаться в одной плоскости, сплющить атом.

Костенко и Капица стали соавторами предложенного ими устройства и получил 30 июня 1926г. английский патент. Импульсный генератор был изготовлен и с большим успехом испытан.

В качестве мощного источника тока П. Л. Капица и М. П. Костенко предложили использовать электрогенератор номинальной мощностью 2 тыс. кВт, который в режиме короткого замыкания не сгорал, как обычные генераторы, а выдавал без аварийных последствий в течение 0,01 с мощность 50 тыс. кВт. Этот генератор был построен фирмой Метрополитен Виккерс по расчетам М. П. Костенко, П. Л. Капицы и Майлса Уокера. Генератор приводился во вращение специальным электродвигателем, получавшим энергию от аккумуляторных батарей.

Масса ротора генератора составляла 2,5 т, диаметр его 50 см. Большой момент инерции ротора позволял обойтись без специального маховика. Генератор давал переменный ток, что было очень существенно, поскольку большой ток короткого замыкания был нужен лишь на небольшой промежуток времени. Если бы генератор давал постоянный ток, то по прошествии 0,01 с этот постоянный ток громадной силы должен быть выключен, а это само по себе сложнейшая проблема. Переменный ток, как известно, два раза в течение каждого периода сам проходит через нулевое значение, и выключить генератор, когда ток проходит нулевое значение, не представляет особого труда. Нужно только строго синхронизировать момент прохождения тока через нуль с моментами включения и выключения генератора на короткое замыкание. Сделать это абсолютно точно невозможно: момент выключения может совпадать с таким временем, когда ток в обмотке еще не равен нулю. Поэтому П. Л. Капице на всякий случай пришлось сконструировать выключатель на ток 5 тыс. А (амплитуда тока 30 тыс. А), отключающий цепь за 0,0001 с. Этот выключатель сам по себе подлинное произведение инженерного искусства.

Соленоид, на который обрушился колоссальный ток короткого замыкания генератора, представлял собой катушку из медной проволоки квадратного сечения. В последующих экспериментах медь была заменена сплавом меди с кадмием, обладающим большей механической прочностью при несколько повышенном электросопротивлении. Когда ток генератора проходил через катушку, в ней развивались грандиозные механические усилия, достигающие нескольких десятков тонн. Чтобы эти усилия не разорвали обмотку, она снаружи скреплялась прочной стальной лентой, воспринимающей усилия.

Это, однако, было не все. Под влиянием мощных сил катушка немного разматывалась, и концы ее отрывались от тех электровводов, через которые к катушке подавался ток. Катушка за катушкой погибали вследствие второстепенного явления уже после того, как были преодолены, казалось бы, все основные трудности. Устранение мелочей заняло несколько месяцев. Наконец решение было найдено. Капица создал обмотку, которая могла дышать, т.е. автоматически расширяться. Один из контактов был сделан подвижным и сам после нескольких испытаний занимал то положение, которое ему больше нравилось.

Другой серьезной трудностью была краткость времени, в течение которого можно было производить измерения. Ведь магнитное поле существовало в соленоиде всего 0,01 с, и за это время все эксперименты надо было начать и закончить. Кроме того, работу осложняли микроземлетрясения, происходящие при резком торможении генератора в тот момент, когда его обмотка замыкалась накоротко. Несмотря на то, что генератор был установлен на массивном фундаменте, покоящемся на скальном основании на виброустойчивой подушке, волна микроземлетрясения искажала результаты измерений. Чтобы этого не происходило, П. Л. Капица нашел весьма изящный выход. Он расположил соленоид с объектом исследования в другом конце зала на расстоянии 20 м от генератора. Волна землетрясения, движущаяся со скоростью звука в данной среде, проходила 20 м за 0,01 с и достигала соленоида уже к тому времени, когда измерения проведены.

В момент короткого замыкания температура в обмотке очень сильно повышается, а затем постепенно выравнивается. Расчеты показали, что эта температура должна превышать температуру Солнца. Это дало повод профессору Эддингтону шутливо заявить: Работы П. Л. Капицы и Э. Резерфорда по расщеплению атома приводят к тому, что, хотя температура в глубинах звезд, быть может, равна миллионам градусов, эти глубины являются довольно прохладным местом по сравнению с Кавендишской лабораторией.

Вот что писал П. Л. Капица о своих опытах Резерфорду, находившемуся в то время в Каире.

Кембридж. 17 декабря 1925г.

Я пишу Вам это письмо в Каир, дабы рассказать, что мы уже сумели получить поля, превышающие 270 тыс., 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 тыс. А. Очевидно, тут вообще нет ничего пагубного для аппаратуры и даже для экспериментаторов, если они держатся 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 П. Л. Капице удалось провести планомерные исследования в магнитных полях до 32 Тл. Это поле, занимавшее объем всего 2 см3, стало верхней границей уверенно получаемого магнитного поля. Вплоть до этой границы Капица совместно с другими учеными исследовал явления Зеемана и Пашена Бека, магнитосопротивление, магнитострикцию и другие эффекты.

Рассматривая перспективы получения еще более сильных магнитных полей, П. Л. Капица указывал в одной из своих статей, что уже в то время (в 20-е годы) состояние техники позволяло сделать конденсаторные батареи, которые могли бы создать поле 200...300 Тл. Однако технические трудности оказались столь велики, что только лишь через 40 лет таким способом удалось получить поля, о которых говорил П. Л. Капица.

Рекорды, поставленные П.Л. Капицей, оставались нетронутыми более 20 лет. Они были побиты лишь в 50-х годах.

Постепенно Капица убедил Резерфорда построить специальную лабораторию для исследований в сильных магнитных полях и при сверхнизких температурах. Резерфорд поддержал эти предложения и даже получил соответствующие средства. Решение вопроса сильно облегчалось тем, что авторитет Капицы в Кембридже уже был чрезвычайно высок его избрали даже членом Лондонского Королевского общества, т.е. английским академиком.

И вот на древней кембриджской земле рядом со старыми корпусами колледжа поднялось современное, хотя и не слишком большое здание лаборатории имени Монда, директором которой был назначен П. Л. Капица.

Торжественное открытие состоялось в феврале 1933г. в присутствии премьер-министра Великобритании С. Болдуина и, разумеется, Э. Резерфорда.

Резерфорд был необычайно доволен и новым зданием, и его оборудованием, и особенно новым директором Монд - лаборатории. П. Л. Капица, по мысли Резерфорда, должен был бы впоследствии стать его преемником и по Кавендишской лаборатории.

Н. Винер вспоминал: ''...в Кембридже была все же одна дорогостоящая лаборатория, оборудованная по последнему слову техники. Я имею в виду лабораторию русского физика Капицы, создавшего специальные мощные генераторы, которые замыкались накоротко, создавая токи огромной силы, пропускавшиеся по массивным проводам; провода шипели и трещали, как рассерженные змеи, а в окружающем пространстве возникало магнитное поле колоссальной силы... Капица был пионером в создании лабораторий-заводов с мощным оборудованием... Сейчас, в связи с созданием атомной бомбы и развитием исследований по физике атомного ядра, такие лаборатории стали совершенно обычными ''.

Однако директором Монд - лаборатории П. Л. Капица пробыл недолго. Пришло время возвращаться на родину, надо было налаживать научную работу в Москве создавать Институт физических проблем Академии наук СССР. Главными темами научных исследований этого института стали магнетизм и сверхнизкие температуры.

Обе эти проблемы должны были решаться комплексно, с участием физиков-экспериментаторов и физиков-теоретиков. Капица думал о том, что их работа в рамках единого института будет способствовать общему прогрессу исследований. По его замыслу здесь должны были работать первоклассные ученые, полностью отдавшие себя научному творчеству.

Однако Капица приехал в Москву, не имея ни сотрудников, ни научной школы. Готовых кадров не было. А может, это и неплохо создавать новые направления и традиции.

Несколько лет заняло формирование и обучение основного и вспомогательного состава сотрудников, образование его ядра. В институте культивировалось служение науке. Руководство его также должно было участвовать в научном процессе. Капица не собирался отказываться от проведения собственных исследований. Только когда работаешь в лаборатории сам, своими руками, проводишь эксперименты, пускай часто даже в самой рутинной их части, только при этом условии можно добиться настоящих результатов в науке, писал он. Чужими руками хорошей работы не сделаешь. Человек, который отдает несколько десятков минут для того, чтобы руководить научной работой, не может быть большим ученым. Я, во всяком случае, не видел и не слышал о большом ученом, который бы так работал, и думаю, что этого вообще быть не может. Я уверен, что в тот момент, когда даже самый крупный ученый перестал работать сам в лаборатории, он не только прекращает свой рост, но и вообще перестает быть ученым.

Наконец, институт укомплектован, в нем ведутся исследования... Мне кажется, цель достигнута, и институт можно считать не только одним из самых передовых в Советском Союзе, но и в Европе, писал радостный Капица.

На установке для получения сверхсильных магнитных полей кавендишцы механик Пирсон и лаборант Лауэрман помогали продолжать кембриджские опыты. В одном из них был зафиксирован новый рекорд получено импульсное магнитное поле в 50 Тл.

Мировая наука остро нуждалась в сверхсильных магнитных полях. Физики циклотронной лаборатории Гарвардского университета, например, мечтали о полях хотя бы 20 Тл, которые могли бы заметно искривлять траектории частиц, попадающих в толстые фотоэмульсии. Они использовали конденсаторные батареи.

Мощные конденсаторные батареи за 0,00001 с могли обеспечить получение электрической мощности 1 млн. кВт или 1 млрд. Вт (мощность Днепрогэса 600 тыс. кВт), удалось получить магнитное поле более 100 Тл. Внезапное высвобождение огромной энергии происходило с грохотом, напоминающим удар грома.

Вся эта лавина энергии загонялась в один-единственный массивный виток. Как показал П. Л. Капица, соленоиды обычного типа с намотанной на них медной проволокой, выживают лишь в полях до 30...35 Тл. Соленоиды биттеровского типа, изготовленные из медных дисков, оказались устойчивее, но и они выдерживали магнитные поля не выше 50...70 Тл. Соленоиды не в состоянии противодействовать огромным усилиям, возникающим в таких полях. Особенно слабым местом казалась межвитковая изоляция. Чтобы от нее избавиться, пришлось перейти на один-единственный массивный виток, который вместе с держателем изготовили из меди, закаленной стали или бериллиевой бронзы.

Цель экспериментов выяснить, насколько различные металлы могут противостоять механическим и тепловым воздействиям сверхсильных импульсных полей. Эксперименты показали, что ни один металл не может без разрушения выдержать усилия, возникающие в магнитном поле 100 Тл. Казалось бы, этим и будут ограничены успехи физики сверхсильных полей. Однако современными учеными, по-видимому, найден выход из этого затруднительного положения. Он заключается в применении бессиловых обмоток, где используются принципы наложения противоположно направленных сил.

Разработано большое число бессиловых и малосиловых обмоток. Бессиловые обмотки это последняя надежда физиков на получение устойчивых полей в неразрушающихся обмотках в том случае, если не будут открыты более прочные и тугоплавкие материалы.

Сильные магнитные поля при разрядке мощных конденсаторных батарей на биттеровский соленоид, иногда запеченный для прочности в керамику, или на отдельный виток сейчас широко используются для создания полей 20...70 Тл.

Значительным техническим достижением является создание в Институте атомной энергии имени И. В. Курчатова (С. Х. Хакимов с сотрудниками) соленоида нового типа, представляющего собой цельноточеную спираль из бериллиевой бронзы. Этот импульсный магнит создает в зоне диаметром 8 см магнитное поле 30 Тл.

А не существует ли способа получения сильного магнитного поля, основанного не на внезапном обрушивании на соленоид громадной энергии, а на каком-то ином принципе? Советские электротехники Г. А. Бабат и М. С. Лозинский в 1940 г. опубликовали статью, в которой высказали идею о концентраторе потока.

Эту идею легко понять. Представим себе разрезанную трубку с током, со стороны разреза замкнутую металлическим поршнем. Внутри трубки ток создает магнитное поле, характеризующееся густотой магнитных силовых линий, т.е. числом их, приходящимся на единицу площади сечения внутренней области трубки. Что произойдет, если поршень внезапно ввести во внутреннюю область трубки? Внутреннее сечение трубки резко сократится. Так как число силовых линий, сцепленных с трубкой, мгновенно измениться не может, плотность их в уменьшившемся сечении столь же резко возрастет. Следовательно, возрастут и магнитная индукция, и напряженность магнитного поля.

Таким образом, принцип концентрации потока сводится к тому, что поле относительно небольшой напряженности создается сначала в большом объеме, затем сечение магнитного потока резко сокращают поле резко возрастает.

Хауленд и Фонер, используя идею Г. А. Бабата и М. С. Лозинского, создали концентратор без механического сокращения рабочей зоны магнита. Выяснилось, что, поместив внутри соленоида массивный виток с небольшим внутренним диаметром, можно также добиться эффекта концентрации: при импульсе тока во внешней обмотке в массивном витке наводятся вихревые токи, которые вытесняют магнитный поток к центральному отверстию массивного витка. С помощью концентраторов получено магнитное поле 45 Тл, в то время как в соленоиде без массивного витка поле более 30...35 Тл получить весьма трудно.

В других экспериментах получено магнитное поле 20 Тл в значительном объеме (примерно равном объему стакана). В этот объем вставлялись толстые фотоэмульсии для исследования ядерных процессов. Батарея конденсаторов при этом имела массу более 30 т.

Вершиной, венчающей все исследования в области сверхсильных магнитных полей, явилась серия экспериментов, проведенных несколько лет назад советскими физиками под руководством академика А. Д. Сахарова.

Рассматривая идею концентрации магнитного потока и понимая, что эффект концентрации тем выше, чем быстрее произойдет схлопывание зоны концентрации, можно прийти к выводу, что этот эффект будет наиболее успешным в том случае, если схлопывание произвести с помощью взрывчатых веществ.

Если внутри замкнутого массивного витка каким-то образом создать магнитное поле, то затем, сжимая виток с помощью кумулятивного взрыва, можно добиться того, что плотность магнитного поля внутри суженного витка сильно возрастет. Это происходит в силу того обстоятельства, что магнитный поток, сцепленный с каким-то контуром, не может мгновенно изменяться. Аналогичные идеи были позже опробованы и американскими физиками в Лос - Аламосской лаборатории.

Устройство, использованное в советских экспериментах, схематически изображено на рис. 6. Первоначальное магнитное поле 100 Тл создается при помощи устройства, также работающего на взрывном принципе. Металлическое кольцо-виток диаметром 7,5...10 см окружают 4...8 кг взрывчатки. Когда внешнее поле достигает максимума, взрывчатку подрывают и кольцо за 0,000001 с, т.е. со скоростью 4 км/с, сужается до 0,4 см.

В процессе схлопывания советскими физиками было замерено магнитное поле 2500 Тл, а американскими 1460 Тл. (Это рекордное магнитное поле было получено путем последовательного использования двух взрывных, или магнитокумулятивных, генераторов МК-1, МК-2. Второй из них использовался для создания запального поля, которое затем охлопывалось генератором МК-1.) Дальнейшие измерения поля были невозможны, поскольку во время схлопывания диаметр кольца уменьшался настолько, что оно раздавливало датчик, с помощью которого производили измерения. Весь процесс длился миллионные доли секунды.

А. Д. Сахаров считает, что достигнутое поле не предел. Используя другие взрывчатые вещества, например ядерные заряды, можно получить магнитные поля, равные 10000 Тл. Такие поля существуют лишь в недрах планет и звезд. Давление магнитного поля растет пропорционально квадрату его напряженности, поэтому при достижении столь сильных полей будут развиваться и соответствующие давления.

Проведение экспериментов при одновременном сочетании столь сильного поля и давления имеет чрезвычайно большое значение для изучения, например, процессов, происходящих внутри планет и звезд, при гравитационном коллапсе сверхзвезд и т.п.

Применяют ли импульсные поля в технике? Перспективы технического использования импульсных полей весьма многообещающи, хотя эта область техники пока делает свои первые шаги.

С помощью магнитного импульсного поля, например, наклепывают защитную металлическую трубку на стальной трос. Давление, развиваемое импульсным полем, настолько велико, что трубка придавливается к негладкой поверхности троса с такой плотностью, какую невозможно получить другим способом.

Точно так же можно использовать электромагнитные усилия, возникающие в мощных магнитных полях, для штамповки деталей, запрессовки проводящих элементов в изоляционные втулки и других технических целей. Сверхсильные магнитные поля, по-видимому, найдут применение в дальней космической радиосвязи, при изучении элементарных частиц и свойств плазмы.

Быть может, наиболее грандиозный и смелый проект использования импульсных полей в физических исследованиях проект, в котором предлагается применять крупный магнитокумулятивный генератор для получения заряженных частиц с колоссальной энергией. Чтобы разогнать частицы до энергии 10 в 12 степени эВ, в качестве заряда потребуется использовать ядерное устройство. Взрыв предполагается осуществить в камере объемом 10 в 4 степени м3, находящейся на дне шахты глубиной 1 км. Удивительно, что это, казалось бы, безумно дорогое устройство должно быть значительно дешевле обычного ускорителя, дающего частицы с той же энергией.