

ИНСТИТУТ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ АКАДЕМИИ НАУК СССР

А. И. Шальников, Москва

28 декабря 1934 г. постановлением правительства был основан в системе Академии наук СССР новый физический институт, директором которого был назначен П. Л. Капица. Была выбрана площадка за линией окружной железной дороги на Калужском шоссе, где весной 1935 г. усиленными темпами были развернуты строительные работы. Согласно генеральному плану на площадке 2,2 га, имеющей форму равнобедренного прямоугольного треугольника, возведены три отдельных здания: здание лаборатории, жилые дома для сотрудников института и директора.

Институт приступил к нормальной работе после принятия правительственной комиссией 25 февраля 1937 г. всех объектов строительства и монтажа.

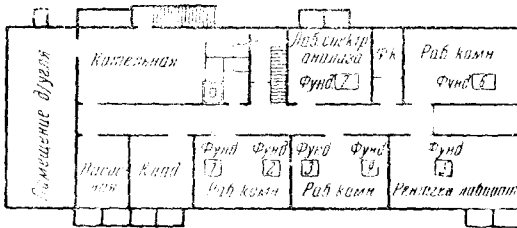


Рис. 1а. Подвальное помещение

Лабораторный корпус института в своей центральной части имеет 2 этажа и подвальное помещение (рис. 1). К центральной части примыкают: одноэтажное крыло большого магнитного зала, а также крыло мастерских и гаражей. Весь этот комплекс образует в плане как бы незаконченную букву „о“ с внутренним асфальтированным двором. Лабораторные комнаты института размещены только в первом этаже и подвале центральной части здания. Во втором этаже расположена административная часть: кабинеты директора и его заместителя, канцелярия, бухгалтерия, красный уголок, буфет, а также лекционный зал, вмещающий до 100 чел. При

постройке здания и размещении рабочих комнат главное внимание было обращено на то, чтобы свести к минимуму неизбежную вообще „тряску“ здания, служащую серьезной помехой при работе с чувствительными подвесными приборами. Для этих целей фунда-

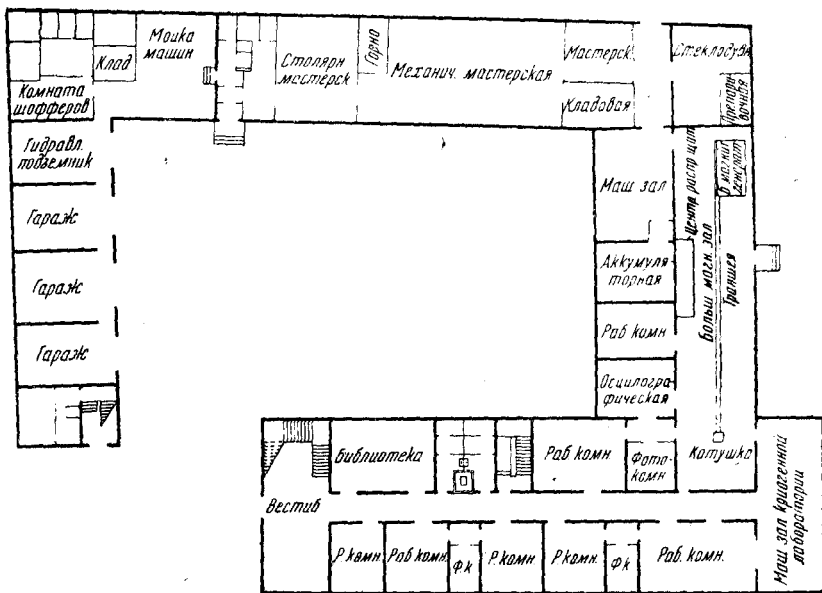


Рис. 1б. 1-й этаж

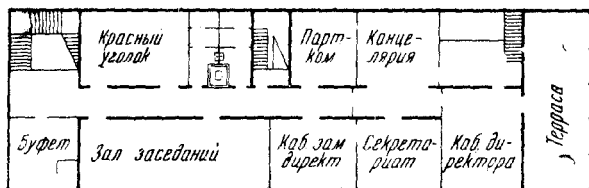


Рис. 1с. 2-й этаж

мент, стены и перекрытия здания были запроектированы со значительно повышенными нормами. Кроме того, лабораторный корпус расположен в возможном удалении от Калужского шоссе — весьма оживленной магистрали, являющейся главным источником шума и тряски от проходящих автомобилей, трамваев и т. п.

Вдоль первого и подвального этажей центральной части института проходит корридор, по обе стороны которого расположены очные комнаты. Корридор первого этажа заканчивается входом

в машинный зал криогенной лаборатории. Кроме семи рабочих комнат, в первом этаже находятся эталонная комната, библиотека, а также три фотокомнаты. В подвале две из пяти рабочих комнат также имеют специальное назначение: одна из них предназначена для целей спектрального анализа, другая, защищенная специальной баритовой штукатуркой, — для рентгеновских исследований. Для нужд обеих этих лабораторий в подвальном помещении оборудована еще одна (четвертая) фотокомната. Все подвальные комнаты снабжены специальными фундаментами. В отличие от обычно применяемых фундаментов, жестко связанных с грунтом, фундаменты подвального помещения института можно назвать „плавающими“. Эти фундаменты представляют собой железобетонные блоки прямоугольной формы, расположенные заподлицо с поверхностью пола, отделенные от массива здания широкой щелью; блоки лежат на резиновых прокладках, служащих для гашения могущих возникнуть колебаний. Подвальные фундаменты института рассчитаны таким образом, что числа колебаний фундаментов по всем трем осям одинаковы, но различны для разных фундаментов. Имеющиеся в подвале 7 фундаментов имеют следующие числа колебаний: 100, 200, 300, 400 и 500 колебаний в минуту (по 500 колебаний в минуту — 3 фундамента). Подбирая для установки чувствительных приборов тот или иной фундамент, можно „изолировать“, таким образом, эти приборы от разного рода периодических сотрясений, неизбежных во всяком здании (от моторов, станков и т. п.). Здесь следует заметить, что гашение вибраций резиновыми прокладками вообще широко практиковалось в институте. Все без исключения моторы и станки установлены на резиновых подушках или непосредственно или на фундаментах, подобных установленным в подвалах и рассчитанных таким образом, что собственный период колебаний установки вместе с бетонной плитой был бы возможно далек от резонансной частоты того или иного станка или агрегата. На таких фундаментах установлены все компрессоры и моторы в машинном зале криогенной лаборатории, большой генератор и большая часть тяжелых станков в механической и столярной мастерских.

Отопление в институте центральное, водяное. Котельная и угольная яма помещаются в части подвала главного крыла. В будущем предполагается установить в тех лабораториях, где необходима постоянная температура, специальные автоматические регуляторы. Вентиляция комнат — принудительная с подогревом подводимого воздуха. Нормы обмена всюду нормальные, за исключением стеклодувной мастерской и аккумуляторной, для вентиляции которых установлены специальные мощные вытяжные вентиляторы. Все рабочие комнаты снабжены водопроводом и сливом и оборудованы глубокими удобными фаянсовыми умывальниками с кранами точной регулировки. В некоторых рабочих помещениях установлены газовые колонки для горячей воды системы „Флетчер“. Кроме того, для нужд жилых домов и душевых комнат (в институте их четыре), в котельной установлен бойлер, подающий ежедневно в зимнее время горячую воду. Во все рабочие комнаты подведен газ (2 рожка на комнату)

и сжатый воздух от двух компрессоров — основного и аварийного, установленного в котельной. Компрессоры производительностью около 200 л в 1 мин.

Окна во всех рабочих помещениях снабжены опускающимися шторами, конструкция которых допускает открывание форточек зимой и окон летом. Стандартная рабочая комната имеет площадь от 30 до 40 м² и освещается лампами, заключенными в молочные

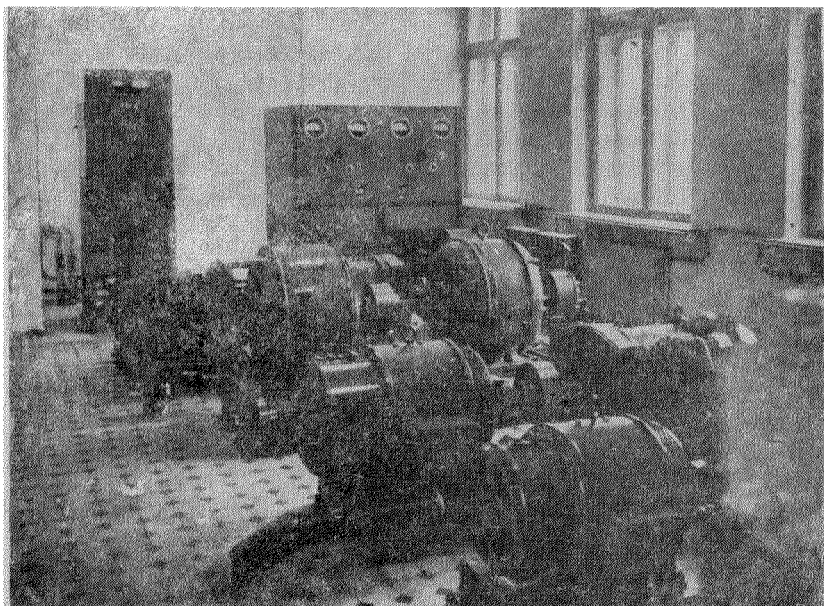


Рис. 2. Машинный зал. Генераторы постоянного тока и ртутные выпрямители

шары. Каждый выключатель, на который приходится секция из двух ламп, снабжен дополнительным приспособлением, позволяющим переключать их с параллельного включения в сеть на последовательное. Это дает возможность создавать в рабочей комнате несколько степеней освещенности.

Так как стены рабочих комнат капитальные (кирпичные), то для облегчения всякого рода временных проводок (ток, газ, вода и т. д.) к ним пришиты на расстоянии 60—70 см друг от друга вертикальные деревянные планки шириной около 10 см и толщиной в 2,5 см. На потолке каждой лабораторной комнаты для тех же целей укреплены по две массивных дубовых балки. Кроме того, для монтажа чувствительных приборов в каждой комнате установлены по два кронштейна с массивными дубовыми столиками 50 × 80 см на высоте 100 см от поверхности пола.

Полы во всех лабораторных комнатах и мастерских паркетные, натираемые минеральным маслом. В некоторых лабораториях (где ведется работа со ртутью) поверх паркета уложен линолеум. Фотокомнаты, как правило, находятся между двух лабораторных комнат, имеющих общий тамбур, позволяющий свести к минимуму возможность попадания в фотокомнату света. Входные двери в тамбур закрываются раздвижными портьерами. Во всех фотокомнатах установлены столы, покрытые линолеумом, с большим количеством ящиков, а также специальные решетчатые проявительные столы с непосредственным сливом в умывальник. Освещаются фотокомнаты кодаковской арматурой со сменными фильмами отраженного света. Проявительные столы снабжены кодаковыми фонарями с набором фильтров. Полы в фотокомнатах из метлахских плиток.

Наиболее трудоемким объектом при строительстве нового института явился монтаж общего электрооборудования. Для того чтобы снабдить лабораторные помещения всеми необходимыми токами и придать максимальную гибкость всей системе электроснабжения, учитывая специфические особенности института, пришлось сделать весьма сложную проводку, на которую ушло несколько километров разного рода кабеля и многожильного шлангового провода. Силовое хозяйство института питается от двух трансформаторов мощностью в 320 и 100 kW (380 V с нулем), установленных в специальном трансформаторном помещении. Для нужд освещения и мелкой моторной нагрузки там же установлен трансформатор в 100 kW (220 V с нулем). Из трансформаторного помещения ток напряжением в 380 V от трансформатора в 320 kW подведен к масляному выключателю, установленному в машинном зале, а от трансформатора в 100 kW напряжением в 380 V — к щиту, установленному в большом магнитном зале и служащему для распределения переменного тока по рабочим комнатам. Дополнительное кабельное соединение, сделанное между центральным щитом большого магнитного зала и распределительными шинами пусковых устройств в машинном зале, позволяет осуществить питание агрегатов машинного зала от любого из двух установленных трансформаторов. Сделана также подводка к центральному распределительному щиту в большом магнитном зале тока напряжением в 220 V с нулем. Это устройство позволяет подавать на щиты рабочих комнат переменный ток напряжением в 380 и 220 V с нулем.

В машинном зале (рис. 2) установлено 4 мотор-генератора: № 1 — асинхронный мотор 10 НР с машиной постоянного тока 0—100 V, 7 kW; № 2 — асинхронный мотор 23,4 НР с машиной постоянного тока от 220—300 V, 15 kW; № 3 — асинхронный мотор 50 НР с машиной постоянного тока 220—230 V, 33 kW; № 4 — асинхронный мотор 20,4 НР с двумя машинами постоянного тока от 150—220 V по 6 kW. Машины возбуждаются от специальной аккумуляторной батареи в 228 V, емкостью около 130 А·час, что дает возможность добиться большого постоянства напряжения. Другая аккумуляторная батарея напряжением в 172 V, разделенная на 23 секции, дает возможность при помощи специального щита по-

давать в любую лабораторную комнату любое напряжение в пределах от 2 до 172 V. Для зарядки аккумуляторной батареи в машинном зале имеется ртутный выпрямитель 339 V, 35 А с 12 ступенями, начиная от 15 V. Другой ртутный выпрямитель 240 V, 120 А, установленный там же, служит для подачи в лаборатории постоянного тока (-120 V, 0, $+120$ V). Кроме того, в машинном зале находится небольшая машина переменного тока частотой до 500 периодов. В машинный зал от отдельного бокового входа подведен троллейный тельфер грузоподъемностью до 2,5 т.

Специальная распределительная панель, находящаяся в большом магнитном зале, к которой подведены силовые концы и концы

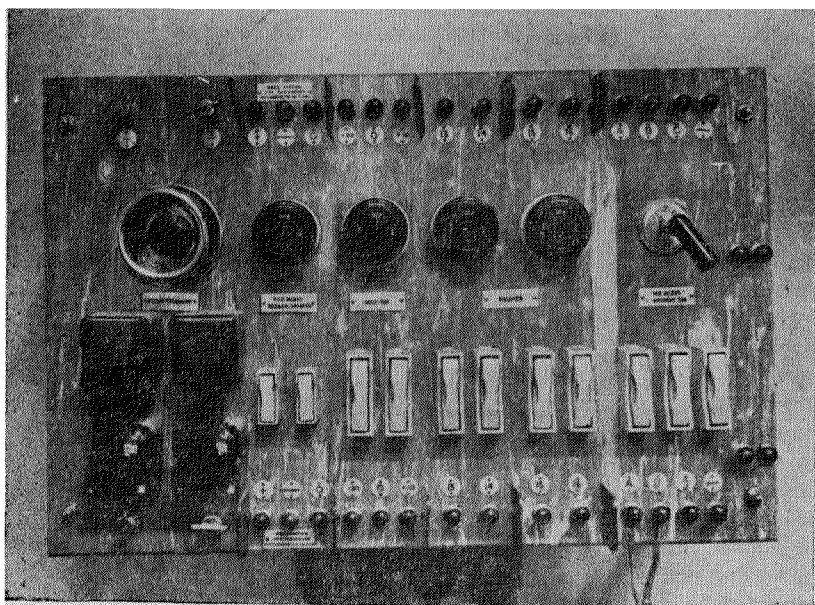


Рис. 3. Лабораторный щит

обмоток возбуждения четырех машин постоянного тока (6, 7, 15, 33 kW), позволяет путем простых переключений подать напряжение любой из этих машин в любую лабораторию или на рядом расположенные щиты управления машинами постоянного тока непосредственно из зала. В первом случае регулировка напряжения машины производится из самой лаборатории с помощью небольшого потенциометра, подключаемого к лабораторному щитку. Это устройство позволяет пользоваться в лаборатории постоянным током силой много десятков ампер без употребления громоздких нагрузочных реостатов. Таким образом питание постоянным током больших магнитов и моторов-компрессоров машинного зала криогенной лаборатории, требующих постоянной регулировки числа оборотов,

необычайно упрощается. Щиты лабораторных комнат (рис. 3) снабжены следующими напряжениями: две клеммы переменного тока напряжением в 130 V (0 и фаза от 220 V); четыре клеммы 220 V с нулем или 380 V с нулем; четыре клеммы от распределительной панели секционированной аккумуляторной батареи; три клеммы постоянного тока от ртутного выпрямителя ($-120, 0, +120$ V); две клеммы от любой из машин постоянного тока и три дополнительных клеммы для регулировки возбуждения поданной на лабораторный щит машины (для подключения потенциометра).

Кроме того, от специальных низковольтных трансформаторов, работающих от осветительной сети, во все лаборатории подведено напряжение к штепсельным гнездам (напряжение в 12 V), что очень удобно для включения низковольтных лампочек для освещения шкал, микроскопов и т. д.

Институт располагает надежным заземлением, охватывающим большую часть периметра здания. Под потолком в каждой рабочей комнате протянута по всему периметру стен медная шинка, соединенная с внешним заземляющим кольцом. Вся проводка к лабораторным щиткам и между распределительным щитом магнитного и машинного зала сделана шланговым многожильным проводом, заключенным в заземленные железные трубы. Во все лаборатории и фотокомнаты подведена проводка от центральных, точных импульсных электрических часов, дающих секундные сигналы. Включая в соответствующую розетку электрические секундомеры, можно иметь очень точный отсчет времени. Для менее точных отсчетов времени лаборатории снабжены синхронными электрическими часами, включаемыми в общую сеть переменного осветительного тока.

Институт располагает местной автоматической телефонной станцией на 25 номеров. Автоматическая телефонная станция снабжена специальным приспособлением, позволяющим путем набора на диске определенной комбинации цифр дать по всему институту сигнал пожарной тревоги. Для противопожарных целей в институте оборудована также насосная станция для повышения в аварийных случаях давления в водопроводной сети института. В наиболее важных частях здания сделана также аварийная осветительная проводка от аккумуляторных батарей.

Наиболее ответственной и важной частью при монтаже научного оборудования института была установка центрального распределительного щита, большого магнитного генератора для получения сверхсильных магнитных полей в большом магнитном зале и аппаратуры для получения низких температур в машинном зале крионой лаборатории.

Большой магнитный генератор расположен в большом магнитном зале (рис. 4), непосредственно примыкающем к центральной части института. Зал имеет в длину 28 м и ширину 6 м. Генератор установлен в конце зала в максимальном удалении от центральной части здания. Посередине зала проходит закрытая траншея, в которой уложены кабели, подводящие ток к катушке, расположенной в противоположном конце зала. Управление генератором сосредоточено

на центральном распределительном щите, находящемся посреди зала у одной из боковых стен. К этому центральному щиту подходит также вся проводка от лабораторных щитков, аккумуляторной батареи, ртутных выпрямителей и машин постоянного тока, находящихся в машинном зале.

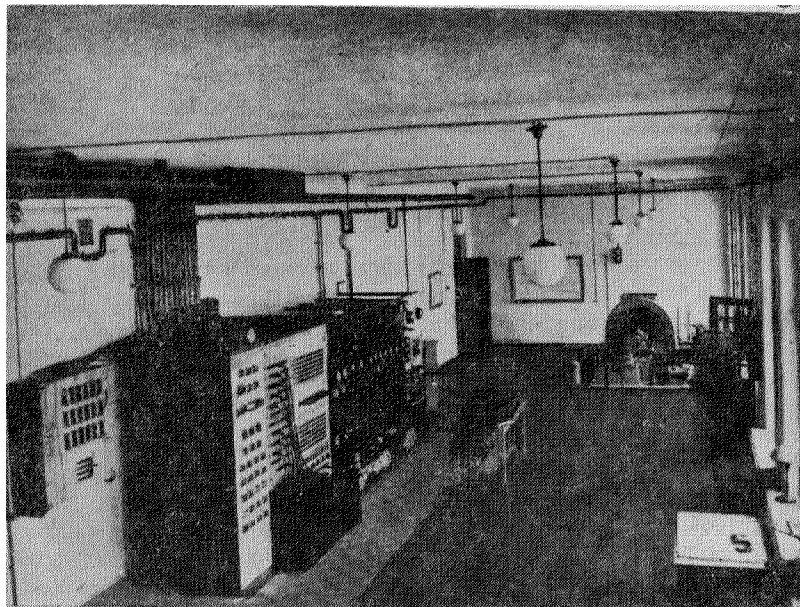


Рис. 4. Большой магнитный зал. Центральный распределительный щит и большой магнитный генератор

Центральный распределительный щит института собран из отдельных панелей. Первая панель, с главным автоматическим рубильником, служит для распределения переменного тока по институту. Расположенные рядом пять панелей управляют машинами постоянного тока в машинном зале и двигателем большого генератора. Далее, здесь находятся: панель зарядки аккумуляторов, панель переключения машин постоянного тока по лабораториям и распределительная панель секционированной аккумуляторной батареи. Большой генератор, в разработке конструкции которого вместе с П. Л. Капицей принимали участие проф. Уокер и проф. Костенко, представляет собой однофазную машину переменного тока, по размерам соответствующую генератору мощностью в 1,500 kW, смонтированную вместе с мотором постоянного тока 80 НР на массивной чугунной плите, укрепленной на бетонном армированном фундаменте, стоящем на резиновых подушках.

На той же плите смонтированы специальной конструкции автоматический синхронный воздушный рубильник, оперирующий от кулачкового устройства, связанного цепной передачей с осью ро-

на центральном распределительном щите, находящемся посреди зала у одной из боковых стен. К этому центральному щиту подходит также вся проводка от лабораторных щитков, аккумуляторной батареи, ртутных выпрямителей и машин постоянного тока, находящихся в машинном зале.

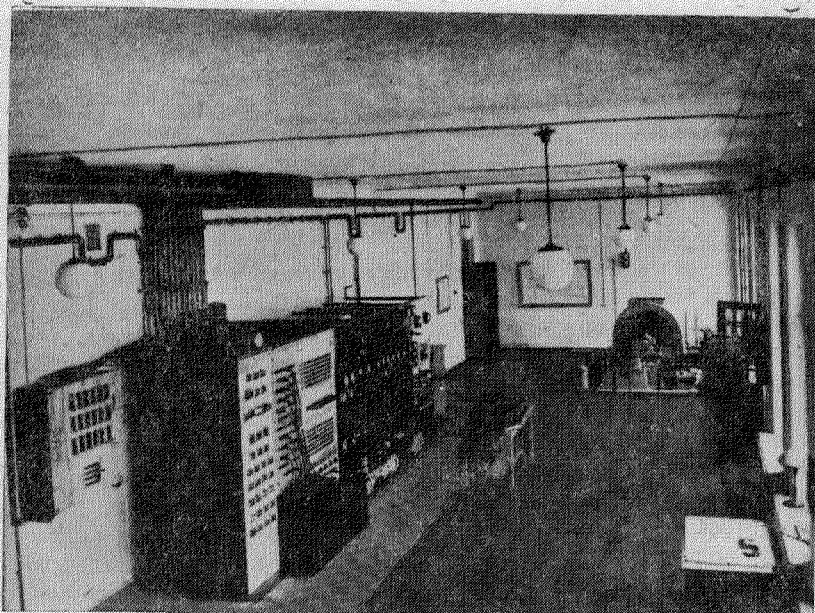


Рис. 4. Большой магнитный зал. Центральный распределительный щит и большой магнитный генератор

Центральный распределительный щит института собран из отдельных панелей. Первая панель, с главным автоматическим рубильником, служит для распределения переменного тока по институту. Расположенные рядом пять панелей управляют машинами постоянного тока в машинном зале и двигателем большого генератора. Далее, здесь находятся: панель зарядки аккумуляторов, панель переключения машин постоянного тока по лабораториям и распределительная панель секционированной аккумуляторной батареи. Большой генератор, в разработке конструкции которого вместе с П. Л. Капицей принимали участие проф. Уокер и проф. Костенко, представляет собой однофазную машину переменного тока, по размерам соответствующую генератору мощностью в 1,500 kW, смонтированную вместе с мотором постоянного тока 80 HP на массивной чугунной плите, укрепленной на бетонном армированном фундаменте, стоящем на резиновых подушках.

На той же плите смонтированы специальной конструкции автоматический синхронный воздушный рубильник, оперирующий от кулачкового устройства, связанного цепной передачей с осью ро-

тора генератора, а также два небольших мотора — один для приведения в действие масляного насоса для охлаждения подшипников генератора, другой для приведения в действие компрессора, подающего сжатый воздух давлением в 8 ат для сдувания дуги, возникающей в момент разрыва тока в автоматическом воздушном выключателе. Для уменьшения возникающих перенапряжений служит конденсатор на 10 μ F, 1000 V, приключенный параллельно с автоматическим рубильником. Последовательно с автоматическим рубильником стоит также масляный выключатель, могущий разорвать цепь в случае отказа рубильника. Мотор генератора запускается от машины постоянного тока по схеме Леонарда, что позволяет добиться легкой установки и регулировки постоянного числа оборотов. Две обмотки возбуждения генератора питаются от двух шестикилловаттных машин постоянного тока, установленных (см. выше) в машинном зале. Рубильник замыкает генератор накоротко на катушку в тот момент, когда напряжение на зажимах машины равно нулю, и размыкает его через полпериода также при подходе к нулю напряжения. Для того чтобы проделать все эти операции, в нужный момент времени рубильником управляет падающая пластинка шлейфосциллографа, установленного в отдельной комнате вблизи большого магнитного зала. Падающая пластинка замыкает ряд контактов различных реле, производящих ряд операций, приводящих автоматический рубильник в „боевую“ готовность. Контактные кольца, жестко связанные с валом генератора, производят окончательное включение спускового реле, прижимающего сильной пружиной ролик к толкающему кулачку, включающему, а затем выключаящему рубильник. Проходящий через катушку ток посредством специального шунта подается на осциллограф, где и записывается на падающую фотопластинку. Максимальная мощность, подаваемая в катушку при коротком замыкании генератора, составляет около 50 000 kW. За время короткого замыкания, продолжающегося около 0,01 сек., ротор генератора, совершающий около 2000 оборотов в 1 мин. и вращающийся около 2,5 м, тормозится на 10—15%. При таком резком торможении генератор испытывает сильный „удар“, который в виде сотрясения распространяется от фундамента генератора во все стороны. Для того чтобы этот мощный толчок не нарушил работы осциллографа и не сказался на точности его записи, а также для предохранения чувствительных приборов, находящихся вблизи катушки, расстояние между генератором, с одной стороны, и катушкой и осциллографом, с другой, сделано настолько большим, чтобы звуковая волна „землетрясения“ пришла уже после того, как все интересующие экспериментатора наблюдения были бы уже произведены и записаны на фотопластинку. Максимальное поле, которое удалось пока получить этим методом в катушке специальной конструкции, достигает 325 000 гаусс при объеме поля порядка нескольких кубических сантиметров. Предел для дальнейшего повышения магнитного поля пока ставит прочность катушек, которые испытывают в момент прохождения тока колоссальные электродинамические нагрузки, находящиеся почти на пределе механиче-

ской прочности применяемых материалов. После каждого эксперимента катушка нагревается более чем на 100° .

Наблюдатель, находящийся в осциллографической комнате, связан световой и звуковой сигнализацией с наблюдателем, управляющим магнитным генератором. При производстве опытов все двери в большой магнитный зал запираются автоматическими электрическими замками.

Эта уникальная установка позволила П. Л. Капице произвести уже ряд важных исследований в области магнетизма¹⁾. Трудности наблюдения разного рода эффектов во времени порядка 0,01 сек. оказались кажущимися. Употребляя специальные регистрирующие приборы, удавалось получать наблюдения, ничуть не уступающие в аккуратности тем, которые производятся при работе с обычными, длительно существующими магнитными полями. В качестве примера можно привести заканчивающееся в институте исследование зеeman-эффекта в сильных магнитных полях, дающее точности порядка процента.

Можно не сомневаться, что с помощью этой установки удастся сделать и в дальнейшем много интересных исследований.

Другой не менее важной частью научного оборудования института является криогенная лаборатория. Здесь также установлена оригинальная аппаратура, сконструированная П. Л. Капицей.

Как известно, для получения низких температур пользуются сжиженными водородом и гелием. Однако сложность соответствующей аппаратуры сильно ограничивает круг лабораторий, располагающих низкими температурами. Таких лабораторий в мире едва насчитывается с десяток. Кроме того, большинство этих лабораторий располагает весьма ограниченными возможностями в смысле получения достаточных количеств жидкого водорода и гелия. П. Л. Капица поставил своей задачей упрощение соответствующей аппаратуры и разработку таких оживителей, которые позволили бы получить жидкие газы просто и в достаточных количествах.

Аппаратура для получения жидкого водорода и гелия, установленная в машинном зале криогенной лаборатории, вполне удовлетворяет этим требованиям. Процесс получения жидкого водорода на установке института в общих чертах заключается в следующем. Химически чистый водород из обычных баллонов высокого давления перепускается в стальной баллон объемом $0,7 \text{ м}^3$, который служит основным резервуаром. Из этого стального баллона водород подается в масляный газгольдер (объем 450 л), снабженный приспособлением, позволяющим поддерживать его поплавком на определенном заданном уровне. Это приспособление состоит из: ртутных ключей (срабатывающих непосредственно при поднимании или опускании поплавка газгольдера), замыкающих цепь тока реле, открывающего или закрывающего подающий газ вентиль, а также включающего или выключающего маленький мотор-компрессор

¹⁾ См. „Успехи физических наук“, 11, 533, 1931.

(производительностью 4 м³ в час), задача которого — перекачка водорода из газгольдера обратно в баллон. Из газгольдера водород поступает в компрессор, сжимающий его до 175 ат и подающий затем в ожижительный аппарат. Пройдя ожижительный аппарат, водород снова попадает в газгольдер и т. д. Таким образом осуществляется циркуляция химически чистого водорода в системе. Сам ожижительный аппарат представляет собой ряд теплообменников и расширительную камеру, заключенную в цилиндрический сосуд из красной меди. Для тепловой изоляции теплообменников внутренность этого сосуда откачивается масляным диффузионным насосом до давления 10^{-5} — 10^{-6} мм Hg. Для предварительного охлаждения (ниже точки инверсии) поступающего в ожижитель водорода, внутри ожижителя находится бачок, в который заливается сифоном из дюаровского сосуда жидкий азот. Азот кипит под пониженным давлением, создаваемым масляным насосом производительностью 90 м³ в час. В расширительной камере охлажденный водород расширяется и охлаждается до еще более низкой температуры и при прохождении через теплообменники охлаждает подходящий газ по принципу противотока. Когда в резервуаре ожижителя скапливается некоторое количество ожиженного водорода (около 200 см³), по параллельным трубкам теплообменников пропускается технический водород, подающий непосредственно из баллонов высокого давления через редукционный вентиль. Этот технический водород охлаждается до температуры, близкой к ожижению, и затем поступает через трубку и фильтр непосредственно в резервуар под поверхность уже ранее ожиженного водорода. Все примеси технического водорода вымерзают при этом в фильтре и не попадают в резервуар. Таким образом аппарат требует для запуска химически чистый водород, сжижая затем водород технический. Производительность этого аппарата 7 л в час, что покрывает всю потребность лабораторий института.

Водород из ожижителя через специальный вентиль сливается в обычный дюаровский сосуд, к горлышку которого резиновой манжетой прикреплена плотная крышка с отверстиями для испаряющегося водорода. Из этого дюаровского сосуда жидкий водород по мере надобности сифоном переливается в экспериментальный прибор. Обычно во всех криогенных лабораториях вследствие большой ценности сжиженного водорода испаряющийся из приборов и дюаровских сосудов газ обратной проводкой отводится в газгольдер; так как в институте сжижается дешевый технический водород, можно не проделывать этой операции и выпускать испаряющийся газ непосредственно в воздух. Все же обычно испаряющийся газ направляется по специальной свинцовой проводке обратно в криогенную лабораторию, где собирается в газгольдер, откуда затем перекачивается маленьким мотор-компрессором в стальной баллон. Таким образом запас чистого водорода не только не расходуется, но даже пополняется.

Аппаратура для сжижения гелия (рис. 5) в общих чертах ничем не отличается от описанной выше. Особенности представляют конструк-

ция и принцип работы ожижителя (см. „Успехи физических наук“, 16, 145, 1936.). Гелиевый ожижитель отличается от водородного тем, что кроме джоуль-томсон-эффекта для охлаждения газа применяется адиабатическое расширение газа с совершением механической работы. Для этого в гелиевом ожижителе смонтирована поршневая машина, работающая при температуре, близкой к ожижению гелия. Часть сжатого до 30 ат газа, поступающего в ожижитель и предварительно охлажденного жидким азотом, кипящим при пониженном давлении, попадает в цилиндр этой машины и, мгновенно рас-

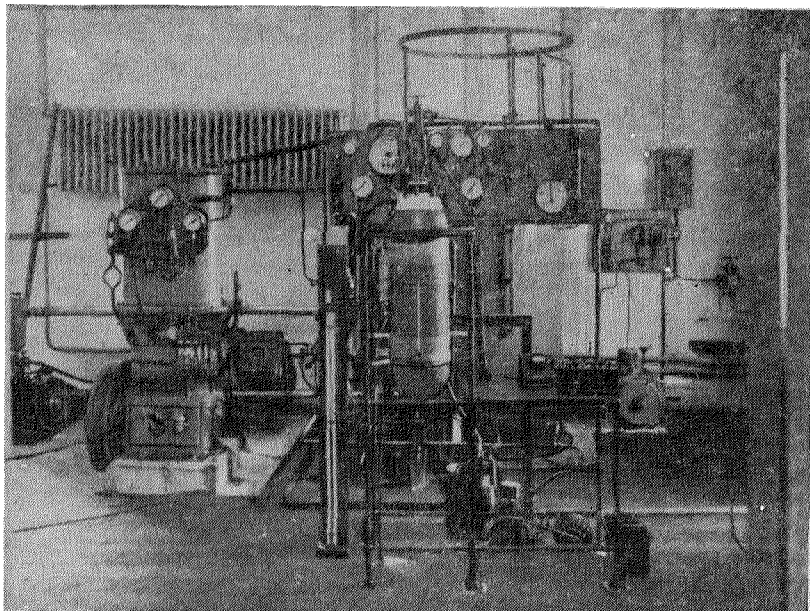


Рис. 5. Машинный зал криогенной лаборатории. Установка для ожижения гелия

ширяясь (машина управляется автоматическими клапанами), толкает поршень и связанный с ним шток, на другом конце которого находится второй поршень, выбрасывающий из цилиндра, в котором он движется, струю воды через узкое отверстие. Другая часть газа проходит редукционный вентиль, где давление с 30 ат понижается до 18 ат, и, проходя затем расширительный вентиль, подводится к расширительной камере, одновременно выполняющей функции резервуара для жидкого гелия. Скопившийся в результате работы ожижителя жидкий газ выпускается затем по мере надобности через вентиль в экспериментальный прибор. Испаряющийся из экспериментальных приборов газ обратной проводкой из лабораторных комнат попадает в два промежуточных газгольдера объемом каждый по 250 л. Только пройдя химическую чистку, он подается в главный газгольдер. Химическая очистка возвращенного гелия о-

загрязнений совершенно необходима, так как эти загрязнения, перейдя в твердое состояние, сразу могут нарушить работу расширительной машины, как известно, работающей без всякой смазки. Очистка возвращающегося газа производится путем пропускания его через отренерованный при высокой температуре под вакуумом активированный уголь, охлаждаемый жидким азотом. Скорость пропускания 600 л в час.

Производительность гелиевого ожижителя института около 1,5 л в час. Однако и эта высокая производительность уже не удовлетворяет институт. В настоящее время П. Л. Капицей сконструирован и строится новый ожижитель с производительностью до 6—7 л в час. С постройкой этого ожижителя институт будет располагать аппаратурой, гораздо более производительной, чем другие криогенные лаборатории.

Для магнитных исследований институт располагает большим магнитом системы Вейсса фирмы Эрликон с полюсными башмаками диаметром 160 мм. Обмотка электромагнита трубчатая, с охлаждением от водопроводной сети. Магнит установлен на вращающемся столе.

Для спектральных исследований (зеeman-эффект, спектральный анализ и т. д.) институт располагает тремя спектрографами: спектрографом Хильгера с кварцевой оптикой модель Е-1, спектрографом ГОИ со стеклянной оптикой и универсальным спектрографом Цейсса со стеклянной и кварцевой оптикой.

Для промера спектрограмм употребляется микрофотометр фирмы Крюсс системы Коха.

В эталонной комнате института установлены микровесы Сарториуса, микровесы и аналитические весы советского производства, 2 металлографических микроскопа производства советских заводов, оптиметр для измерения толщин, бинокулярные биологические микроскопы, компараторы и т. д.

Для электрических измерений в эталонной есть мостики Уитстона, Томсона, потенциометры Тинзля, потенциометры Диссельхорста и т. д.

Для рентгеновских исследований в подвальной комнате, специально для этого оборудованной, будет поставлена однокенотронная высоковольтная установка производства Московского рентгеновского завода.

Для вакуумной плавки металлов приобретена установка высокой частоты производства Института прикладной физики (Ленинград) мощностью в 1—2 kW.

Научная кладовая института располагает большим количеством ходовой измерительной аппаратуры и разного рода материалами и химикалиями.

Весьма важной частью института являются прекрасно оборудованные мастерские: стеклодувная, механическая и столярная.

Стеклодувная мастерская рассчитана на работу трех стеклодувов. В ней установлены большие газовые горелки и сделана специальная проводка из широких труб, позволяющая отделять крупные стеклянные приборы. Сжатым воздухом стеклодувная питается от

общинститутских компрессоров. Имеются также горелки и оборудование для изготовления изделий из кварца. К стеклодувной при-мыкает препараточная, в которой установлен аппарат для перегонки воды, ртуги, аппарат кагодного распыления, откачечный станок, печи для отжига и т. д. Стеклодувная располагает большим ассор-тиментом трубок, разного рода баллонов и т. п.

Механическая мастерская занимает площадь 153 м² и оборудо-вана как импортными, так и советскими станками. Токарных стан-ков в мастерской 7, фрезерных 2 (один из них универсальный, фирмы „Деккель“ для точных работ, снабженный комплектом разно-образных приспособлений). Есть также шеппинг, 2 сверлильных станка, плоскошлифовальный станок, станок для заточки инстру-мента, пила и ножницы по металлу. Имеются также 2 маленьких часовых токарных станка и маленький фрезерный станок, а также станок для намотки катушек. При мастерской имеется обширный склад материалов.

Столярная мастерская оборудована круглой пилой, фуговочным станком, рейсмусовкой и токарным станком по дереву.

В настоящее время в институте, располагающем весьма узким кругом работников, уже ведется ряд научных работ. Одна из этих работ, уже близкая к окончанию, представляет собой тщательное изучение эффекта Зеемана в полях до 320 000 гаусс, получаемых с помощью большого магнитного генератора. Удалось показать, что вплоть до максимальных магнитных полей наблюдается хоро-шее совпадение измеренных расщеплений с теоретически вычислен-ными как для зееман-эффекта, так и для пашен-бак-эффекта.

Другая очень сложная в экспериментальном отношении работа посвящена измерению гиромангнитного эффекта (эффекта Эйнштейна-де-Гааза) в сверхпроводниках, что позволит сделать ряд заключе-ний о природе носителей тока в явлении сверхпроводимости.

Следующая работа из области сверхпроводимости заключается в исследовании сверхпроводников, получаемых в виде тонких слоев. Отсюда, повидимому, удастся сделать ряд выводов, полезных как для понимания самой сверхпроводимости, так и для строения тон-ких металлических слоев, обладающих, как известно, рядом разно-образных аномалий.

Четвертая работа ставит своей задачей измерение вязкости орга-нических жидкостей при низких температурах в области, близкой к затвердеванию. Разработанная методика позволит в дальнейшем произвести исследование вязкости двух модификаций жидкого гелия.

Дальнейшая работа института будет разворачиваться в направле-нии криомагнитных и криоэлектрических исследований. Предпола-гается продолжить работы П. Л. Капицы по измерению сопро-тивления металла в магнитном поле, измерению электрического со-противления очень чистых металлических кристаллов и пр.

Будут также вестись изыскания в направлении разработки методов получения низких температур, а также в направлении усо-вершенствования методов получения ожиженных газов.

ПРЕВРАЩЕНИЯ АТОМНЫХ ЯДЕР ¹⁾*Нильс Бор, Копенгаген*

Автор уже имел раньше случай указать ¹⁾, что для понимания типичных особенностей ядерных превращений, вызванных ударами материальных частиц, необходимо предположить, что первая стадия всякого процесса столкновения состоит в образовании промежуточной полустабильной системы из первоначального ядра и столкнувшейся с ним частицы. Нужно также предположить, что в этом состоянии избыток энергии временно сосредоточивается в сложных движениях всех частиц образовавшейся составной системы. Возможную последующую потерю этого избытка ядром с освобождением какой-либо элементарной или сложной ядерной частицы можно рассматривать с этой точки зрения как отдельное событие, не связанное непосредственно с первой стадией процесса столкновения. Поэтому можно сказать, что конечный результат столкновения зависит от конкуренции всех процессов разложения и излучения, происходящих в составной системе в согласии с законом сохранения энергии и массы.

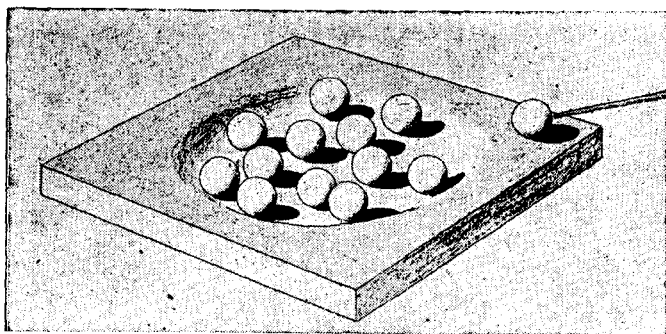


Рис. 1.

На рис. 1 показана простая механическая модель, иллюстрирующая эти особенности ядерных столкновений. В мелкой миске нахо-

¹⁾ Сокращенное изложение лекции, прочитанной в Москве в июне 1937 г. Иллюстрации воспроизведены с трех диапозитивов, показанных на этой лекции. Перевод с рукописи В. Васильева.

дится некоторое число билиардных шаров. Если бы углубление миски было пустым, то пущенный в нее шар скатился бы по одному склону и выскочил бы с другой стороны с прежней энергией. Но, если в миске находятся другие шары, то пущенный к ним шар не будет в состоянии свободно проскочить через миску. Сначала он отдаст часть своей энергии одному из шаров, затем оба отдадут часть своей энергии другим двум шарам и так до тех пор, пока первоначальная кинетическая энергия не окажется распределенной среди всех шаров. Если углубление и шары были идеально гладки и упруги, то столкновения будут продолжаться, пока достаточно большая часть кинетической энергии не окажется снова сосредоточенной в близком к краю шаре. Если энергия пущенного шара не очень велика, то у оставшихся шаров сохранится недостаточно общей энергии для того, чтобы позволить какому-либо из них подняться по склону. Если же между шарами и миской существует самое слабое трение или если шары не идеально упруги, то вполне может оказаться, что ни один из шаров не будет иметь случая выскочить до того момента, пока благодаря трению не потеряется в виде тепла столько энергии, что оставшейся энергии окажется уже недостаточно для выскакивания какого-либо из них.

Такое сравнение очень удачно иллюстрирует, что происходит при ударе быстрого нейтрона о тяжелое ядро. Ввиду большого количества частиц, из которых состоит система в этом случае, и ввиду их сильного взаимодействия друг с другом мы можем ожидать, исходя из этой простой механической аналогии, что продолжительность жизни составного ядра будет очень велика по сравнению со временем, потребным быстрому нейтрону для прохождения сквозь ядро. Эта модель объясняет, прежде всего, тот факт, что хотя вероятность излучения электромагнитной радиации ядром за такой промежуток времени чрезвычайно мала, тем не менее ввиду большой продолжительности жизни составного ядра существует не слишком незначительная вероятность того, что система вместо освобождения нейтрона отдаст избыточную энергию в виде электромагнитного излучения. Другим экспериментальным фактом, который легко понять теперь, исходя из такой картины, является удивительно большая величина вероятности неупругого столкновения, приводящего к эмиссии нейтрона с гораздо меньшей энергией, чем у столкнувшегося с ядром нейтрона. В самом деле, из вышеприведенных соображений ясно, что процесс распада составной системы, который требует концентрации меньшего количества энергии на отдельной частице, будет происходить более легко, чем тот процесс разложения, при котором весь избыток энергии окажется сосредоточенным на вылетевшей частице.

С первого взгляда можно было бы думать, что такая простая механическая трактовка противоречит факту, который столь хорошо установлен исследованиями спектров радиоактивных γ -лучей, а именно что ядра, подобно атомам, обладают дискретным распределением энергетических уровней. Ибо в предыдущем обсуждении существенным являлось то, что составная система должна была бы обра

зоваться при практически любой кинетической энергии, столкнувшегося с ядром нейтрона. Однако мы должны ясно представить себе, что при ударах быстрых нейтронов мы имеем дело с таким возмущением составной системы, которое гораздо больше обычных уровней возбуждения γ -лучей. В то время как последние большей частью достигают немногих миллионов вольт, возбуждение в первом случае будет значительно превышать энергию, необходимую для полного удаления нейтрона из ядра в нормальном состоянии. Эту энергию можно оценить, примерно, в 8 000 000 eV, исходя из измерений дефекта массы.

Рис. 2 схематически показывает общий характер распределения уровней энергии для тяжелого ядра. Низшие уровни, которые отстоят друг от друга в среднем на несколько сот тысяч вольт, соответствуют уровням γ -лучей, найденным в радиоактивных ядрах. При увеличении возбуждения уровни быстро сближаются, а при возбуждении, примерно, в 15 миллионов вольт, соответствующем столкновению ядра с быстрым нейтроном, они, по видимому, распределены непрерывно. Характер строения верхней части схемы уровней показан с помощью двух луп большого увеличения, расположенных на диаграмме — одна в вышеупомянутой области непрерывного распределения энергии, а другая в области, соответствующей тому возбуждению, которое получается в составной системе при присоединении очень медленного нейтрона к первоначальному ядру. Пунктирная линия в середине поля нижнего увеличительного стекла изображает энергию возбуждения составного ядра в том случае, когда кинетическая энергия налетающего нейтрона в точности равна нулю. Расстояние от этой линии до основного состояния поэтому как раз равно энергии связи нейтрона в составной системе.

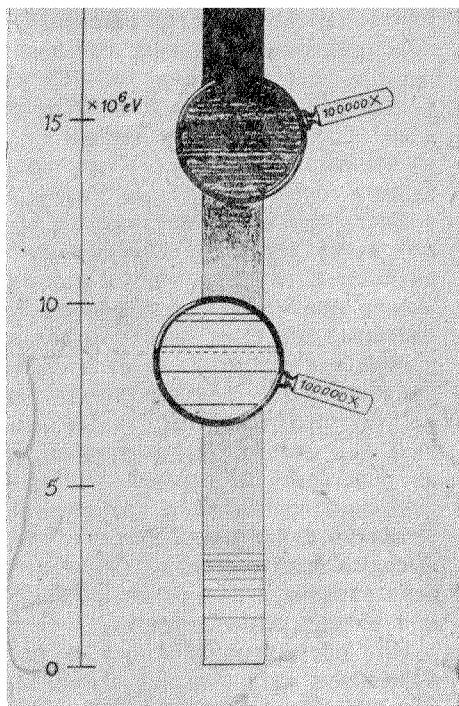


Рис. 2.

О том, как расположены уровни энергии в области, лежащей вблизи этой линии, можно судить по результатам опытов с захватом очень медленных нейтронов с энергией порядка доли

вольта. Так например, если кинетическая энергия налетающего нейтрона как раз соответствует энергии одного из стационарных состояний составной системы, то эффект квантово-механического резонанса может дать такое эффективное поперечное сечение для захвата нейтронов, которое в несколько тысяч раз превышает обычные поперечные сечения ядер. Такой избирательный эффект действительно был найден в случае нескольких элементов, а далее было установлено, что ширина резонансной области во всех этих случаях не превышает некоторой малой доли вольта. Исходя из относительного распределения эффекта избирательного захвата нейтронов среди тяжелых элементов и из остроты резонанса, можно примерно оценить порядок величины среднего расстояния между энергетическими уровнями в этой области в $10-100$ eV. В поле зрения нижнего увеличительного стекла на рис. 2 показано несколько таких уровней, а то обстоятельство, что один из этих уровней лежит очень близко к пунктирной линии, соответствует возможности избирательного захвата очень медленных нейтронов в данном частном случае ¹⁾.

Распределение энергетических уровней ядра, показанное на рис. 2, по своему характеру совершенно отлично от того, с которым мы знакомы в случае обычных атомов, где возбуждение атома обычно можно приписать возмущенному квантовому состоянию отдельной частицы, ибо связь между отдельными электронными перескоками в поле вокруг ядра незначительна. Тем не менее, распределение уровней ядер — как раз такого типа, какого мы в праве ожидать от упругого тела, где энергия сосредоточена в колебаниях всего тела как целого. Действительно, поскольку с увеличением полной энергии системы вероятность комбинации простых частот таких движений чрезвычайно возрастает, то расстояние между соседними уровнями будет очень быстро уменьшаться при переходе к более высоким возбуждениям. Общеизвестно, что такая трактовка была использована в дискуссии по вопросу о теплоемкости твердых тел при низких температурах.

При обсуждении вопроса о распаде составной системы с возбуждением материальных частиц весьма плодотворным является применение термодинамических аналогий. Случай эмиссии нейтронов, в котором за пределами обычных ядерных состояний не действуют никакие силы, представляет особенно удачную аналогию испарению жидкого или твердого тела при низких температурах ²⁾ Действительно, оказалось возможным из приближенно известных нам уровней ядер при небольших возбуждениях получить оценку

¹⁾ Явление избирательного захвата медленных нейтронов, которое обвуживает интересную формальную аналогию с оптическим резонансом специально изучалось в работе Брайтеса и Вигнера ². Первые оценки по данным опыта ширины уровней сделали Фриш и Плачек ³ и были детально обсуждены в недавней работе Бете и Плачека ⁴.

²⁾ Я. Фреэкель ⁵ впервые предложил применить к вероятности вылета нейтрона из составного ядра обычную формулу для испарения. Более детальное исследование, основанное на общей статистической механике, дано в статье Вейскопфа ⁶.

„температуры“ составного ядра. Из этой величины получается такая вероятность испарения для нейтрона, которая согласуется с вычисленной из опытных данных продолжительностью жизни составного ядра, образуемого при столкновениях с быстрыми нейтронами.

Рис. 3 показывает процесс столкновения между быстрым нейтроном и тяжелым ядром. Для упрощения хода рассуждений в ядро вставлен воображаемый термометр. Показанная на рисунке шкала

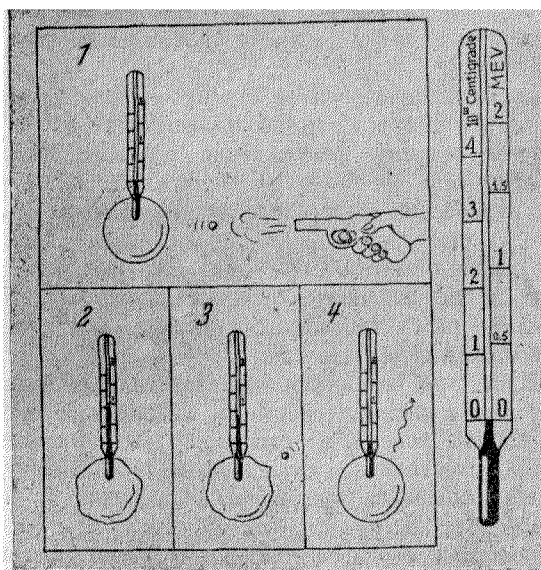


Рис. 3.

термометра дана в миллиардах градусов Цельсия, а для сравнения приведена и другая, более общепринятая мера, именно, шкала с делениями на миллионы вольт-электронов. Рисунок показывает различные стадии процесса столкновения. Сначала первоначальное ядро находится в нормальном состоянии, и температура равна нулю. После удара о ядро нейтрона с кинетической энергией примерно в десять миллионов вольт, образуется составное ядро с энергией в 18 миллионов вольт, а температура растет от нуля приблизительно до одного миллиона вольт. Неправильный контур ядра символизирует колебательные деформации, достигающие размаха, соответствующего различным колебаниям, возбужденным при данной температуре. Следующий рисунок показывает, как нейтрон вылетает из возбужденной системы, причем соответственно этому температура несколько понижается. В последней стадии процесса оставшаяся энергия теряется в виде электромагнитного излучения, и температура падает до нуля.

Этот описанный выше процесс столкновения наиболее вероятен

тогда, когда энергия налетающего нейтрона велика. Но для меньших величин энергии нейтрона вероятности вылета нейтрона и излучения делаются одного порядка величины, что служит причиной значительного роста вероятности захвата нейтрона ядром. Наконец, если мы спустимся до области очень медленных нейтронов, то, как известно из опыта, вероятность излучения становится даже гораздо больше вероятности вылета нейтрона. Однако ясно, что в этом случае аналогия между вылетом нейтрона и испарением будет совершенно не адекватной, так как механизм вылета, подобно образованию составного ядра, требует здесь специфического квантово-механического объяснения, которое не поддается столь простой трактовке.

Действительно, количественное сравнение между обычным испарением и вылетом нейтрона можно провести только в тех случаях, когда величины энергии возбуждения составной системы очень велики по сравнению с энергией, необходимой для удаления отдельного нейтрона из ядра, потому что только в этих случаях возбуждение, оставшееся в ядре после вылета нейтрона, почти равно возбуждению составного ядра. Это же условие считается выполненным и при явлениях обычного испарения, где изменение теплосодержания рассматриваемого тела при вылете отдельной молекулы газа весьма незначительно.

В проведенных до сих пор экспериментах с ударами быстрых нейтронов условия для приложимости аналогии с испарением выполняются, вообще говоря, не строго, но все же имеется большое число скорее качественных следствий из этой аналогии, которые могут принести большую пользу при обсуждении таких процессов столкновений. Например, вышеупомянутая большая вероятность потери энергии при столкновениях между быстрыми нейтронами и ядрами в точности соответствует тому факту, что молекулы, улетающие при обычном испарении, не имеют полной энергии нагре того тела, но уходят вообще с много меньшим запасом энергии на одну степень свободы, чем это соответствует температуре испаряющегося тела. Далее, исходя из термодинамической аналогии мы можем ожидать, что энергия вылетающих частиц будет распределяться около этого среднего значения соответственно максвелловскому закону распределения. Более того, если энергия налетающего нейтрона в несколько раз больше энергии связи, приходящейся на одну частицу, то можно предсказать, что не одна отдельная частица, а несколько частиц, каждая с энергией, меньше чем у налетающей частицы, будут покидать составное ядро постепенно, в ряде последовательных, частичных процессов разложения. Действительно, было найдено, что ядерные реакции этого типа имеют место в ряде случаев.

Эти рассуждения могут также прилагаться к вылету из составного ядра заряженных частиц, как-то протонов и α -частиц. Одна следует иметь в виду, что в этом случае скрытая теплота испарения не представляет собой просто энергию связи заряженной частицы и что к этой последней нужно прибавить электростати-

скую энергию взаимного отталкивания вылетающей частицы и остатка ядра. Кроме того, это отталкивание будет действовать ускоряющим образом на частицы после их вылета из ядра, и средняя кинетическая энергия заряженной частицы поэтому будет больше, чем у нейтрона, на величину, соответствующую этому отталкиванию. Поэтому мы вправе ожидать, что энергия вылетевшей частицы будет вероятнее всего равна сумме тепловой энергии и энергии электростатического отталкивания и что вероятность эмиссии заряженной частицы будет, как и в случае нейтронов, уменьшаться с увеличением ее энергии по максвелловскому экспоненциальному закону. Такое предпочтение процессов распада, при которых вылетающая частица берет с собой не всю доступную ей энергию, является действительно одной из самых удивительных особенностей большого числа ядерных реакций, протекающих с эмиссией протонов или α -частиц.

До сих пор мы главным образом занимались ядерными процессами, вызванными ударами нейтронов. Тем не менее, подобные же соображения относительно образования промежуточного состояния будут приложимы и к столкновениям между заряженными частицами и ядрами. Но в этом случае нужно учесть, что электрические силы отталкивания, действующие между положительно заряженными ядрами, могут при малых значениях кинетической энергии налетающих частиц совершенно предотвратить или сделать менее вероятным соприкосновение, необходимое для образования составного ядра. Действие этого электростатического отталкивания ядерных частиц на дальних расстояниях в соединении с их сильным притяжением на малых расстояниях можно просто описать при помощи понятия так называемого „потенциального барьера“ окружающего ядро. Налетающей заряженной частице предстоит преодолеть этот барьер для того, чтобы притти в соприкосновение с ядром. После того, как закон, управляющий самопроизвольным α -распадом радиоактивных ядер, был разъяснен, стало известным что по квантовой механике заряженная частица имеет известную вероятность пройти через такой потенциальный барьер, даже если эта частица, с точки зрения классической механики, должна бы остановиться на склоне барьера из-за недостатка энергии. Эти же квантово-механическим эффектом объясняется и тот экспериментальный факт, что медленные протоны, ударяясь о не очень тяжелые ядра, имеют довольно большую вероятность вызвать процессы распада ядра даже при таких значениях энергии, при которых с классической точки зрения соприкосновение частицы с бомбардируемым ядром было бы предотвращено электростатическим отталкиванием.

Другой интересной особенностью столкновений между заряженными частицами и легкими ядрами являются замечательные резонансные эффекты, экспериментально установленные в случае распада, вызванного ударами протонов и α -частиц. Как и при избирательном захвате медленных нейтронов, такой резонанс можно приписать совпадению величины суммы энергий налетающей частицы

и первоначального ядра с энергией стационарного состояния составной системы, соответствующего некоему квантованному коллективному типу движения всех составляющих систему частиц¹. Особенно много сведений о распределении уровней высоких возбуждений в легких ядрах было получено при изучении этого резонансного эффекта в случае ударов α -частиц. В противоположность тесному расположению уровней, найденному в тяжелых ядрах, уровни в этом случае отстоят друг от друга на несколько сот тысяч вольт для возбуждения, значительно превышающего десять миллионов вольт. Этот результат легко понять, если ясно представить себе, что низшие уровни возбуждения в случае легких ядер более далеко удалены друг от друга, чем в тяжелых ядрах, а потому число возможных комбинаций этих уровней в данной энергетической области гораздо меньше в первом случае, чем во втором.

Не только расстояние между резонансными уровнями, но и их половинная ширина гораздо больше в легких ядрах, чем в тяжелых, что свидетельствует о том, что продолжительность жизни составной системы в первом случае гораздо меньше, чем во втором. Прежде всего это происходит от того обстоятельства, что резонанс в тяжелых ядрах происходит, как оказалось, лишь в случае очень медленных частиц, в котором вероятность вылета крайне мала, так что продолжительность жизни составной системы определяется только вероятностью излучения электромагнитной радиации. В легких же ядрах продолжительность жизни, вообще говоря, целиком определяется вероятностью освобождения сравнительно быстрых частиц. Впрочем, совершенно независимо от этого мы вправе ожидать, что продолжительность жизни тяжелого ядра, — даже если это ядро было бы так сильно возбуждено, что могло бы испустить быструю частицу, — будет гораздо больше, чем в легких ядрах за счет того, что тяжелым ядрам нужно приписать более низкую температуру, чем легким, для данной энергии возбуждения.

Изложенные здесь простые соображения, повидимому, действительно могут в общих чертах передать характерные особенности ядерных реакций, вызванных столкновениями. Нам также представляется вполне возможным объяснить характерные отличия в излучательных свойствах ядер и атомов при помощи подобной же трактовки. Эти различия также происходят по существу от крайней легкости обмена энергией между тесно упакованными частицами ядра по сравнению с приблизительной независимостью каждого связанного электрона в атоме. Однако более подробное обсуждение этих проблем лежит вне рамок этого краткого обзора²).

¹) Кроме полной энергии составной системы, как часто указывалось, могут иметь значение для изучения явлений резонанса также и ее спин и другие свойства симметрии. Вопрос о том, как такая трактовка может быть поставлена в связь с общей картиной ядерных реакций, изложенной в настоящей статье, разобран в статье Калькара, Оппенгеймера и Сербера⁷.

²) Более полный отчет о развитии изложенных здесь идей будет вскоре опубликован Калькаром и автором в Proc. Copenhagen. Acad.

ЛИТЕРАТУРА

1. N. Bohr, Nature, **137**, 344, 1936.
 2. G. Breit a. B. Wigner, Phys. Rev., **49**, 642, 1936.
 3. O. R. Frisch a. G. Placzek, Nature, **137**, 357, 1936.
 4. H. Bethe a. G. Placzek, Phys. Rev., **51**, 400, 1937.
 5. J. Frenkel, Sow. Phys., **9**, 533, 1936.
 6. V. Weisskopf, Phys. Rev. (в печати).
 7. F. Kalckar, I. R. Oppenheimer a. R. Serber, Phys. Rev. (в печати).
-