

будут вызывать мгновенное его охлаждение. По-видимому, реализация указанных условий возможна только в плазме газового разряда (т. II, § 45, 1959 г.; в пред. изд. § 52). Натяжение магнитносилковых линий тока, охватывающих канал тока, при большей величине тока отрывает газоразрядную плазму от стенок и сжимает ее в «шнур» (*пинчэффект*). При большой плотности тока температура разреженного ионизированного газа в разрядном шнуровом канале может быть доведена до миллионов, а возможно, и десятков миллионов градусов.

В 1956 г. академик И. В. Курчатов сообщил о проведенном в СССР экспериментальном и теоретическом изучении ядерных процессов в плазме газоразрядного шнура. Это сообщение вызвало серию публикаций английских, американских и других физиков, причем обнаружилось, что в ряде лабораторий опыты проводились в одном и том же направлении.

Трудность решения задачи заключается в том, что газоразрядный шнур неустойчив: его сужения в отдельных местах и прогибы приводят к соприкосновению со стенками реактора, что ведет к охлаждению плазмы. Для повышения устойчивости применяют стабилизирующие магнитные поля: продольные и охватывающие. Эксперименты последних лет (1957—1958 гг., на установках «Зета» в Харуэлле, на серии установок «Колумб» в Лос-Аламосе, на установках «Огра» и «Альфа» в СССР и др.) показали, что при импульсах тока порядка ста тысяч — миллиона ампер в шнуре газового разряда развиваются очень высокие температуры, однако еще не достаточные для стимулирования термоядерных реакций, и наблюдается испускание нейтронов (числом 10^7 и более на каждый импульс тока), но эти нейтроны еще не термоядерного происхождения, а вызываются процессами, которые связаны с неустойчивостью шнура.

Фронт упомянутых исследований все время расширяется, так как пока не найдено другого пути, а создание термоядерного реактора справедливо считают самой актуальной и самой грандиозной задачей физики.

§ 120. Применение ядерных реакций

Первым применением ядерных реакций было использование радиоактивных вод и радиоактивных грязей, а вслед за тем и радиоактивного облучения в лечебных целях. Начиная со второй половины 30-х годов (после того как были открыты явления индуцированной радиоактивности, § 92), терапевтические учреждения многих стран мира стали систематически изучать лечебное действие различных радиоактивных изотопов. В послевоенные годы, когда благодаря ускорительным аппаратам и ядерным реакторам в широких масштабах налажилось производство радиоактивных изотопов, их применение прочно вошло в медицинскую практику и помогло восстановить здоровье, а во многих случаях и спасти жизнь большому числу людей. Например, при заболевании слизистых оболочек и злокачественных болезнях крови в лечебных целях дают принимать внутрь или вводят внутривенно радиоактивный изотоп фосфора P^{32} (в виде раствора фосфорнокислого натрия). Радиоактивным изотопом иода J^{131} лечат заболевания щитовидной железы. Для лечения ряда других болезней часто применяют радиоактивные изотопы: Au^{188} , Mn^{52} , Cs^{137} , Ce^{144} .

Советскими физиками созданы специальные аппараты для терапевтического радиоактивного облучения. При помощи аппарата «ГУТ-Со-400», в котором гамма-лучи испускаются радиоактивным изотопом кобальта Co^{60} (его количество в указанном аппарате эквивалентно 400 г радия), лечат больных с опухолями легких, пищевода, глубоко расположенными саркомами и т. п. Менее мощный аппарат «ГУТ-Со-20» применяют для лечения рака кожи, языка, гортани и других болезней.

Выработка радиоактивных изотопов привела к широчайшему использованию метода «меченых атомов» в самых разнообразных научных исследованиях. Радиоактивные изотопы в микроскопических дозах вводят: в ткань живого организма, в почву у корневой системы растения, в струю изучаемых потоков воздуха или воды, в один из участков какой-либо физико-химической системы и т. п., а затем при помощи счетчиков β - или γ -излучения следят за продвижением внесенного изотопа. На основе проведенных таким способом измерений можно получить много ценных сведений. Так, например, с помощью радиоактивных изотопов был глубоко изучен фотосинтез крахмала, происходящий в листьях растений, исследованы процессы усвоения различных элементов растениями, изучаются факторы, влияющие на рост домашних животных; радиоактивные изотопы позволяют наблюдать за ходом химических реакций и лучше разобраться в их механизме и т. п. Вообще за последние 15 лет в биологии, физиологии, медицине, в различных отраслях сельского хозяйства и животноводства, в химии, металлургии и в других областях науки и техники тысячами исследователей решено такое число научных проблем, что простое перечисление важнейших из них заняло бы десятки страниц.

В последние годы на текстильных заводах, на заводах бумажной промышленности, на заводах металлических и пластмассовых изделий и других радиоактивные изотопы стали применять для автоматического контроля качества изделий — их строгого соответствия установленным нормам. Так, с помощью радиоактивных изотопов можно точно измерять толщину различных пленок, определять площади поверхностей разных тел, повышать точность процессов взвешивания, просвечиванием массивных изделий γ -лучами можно находить имеющиеся в них дефекты, причем во многих случаях установки для просвечивания деталей γ -лучами оказываются рентабельнее рентгеновских аппаратов. Мощное радиоактивное облучение облегчает осуществление некоторых химико-технологических процессов, в частности процесса полимеризации (оно позволяет, например, при производстве полиэтилена снизить давление от 1000 до 100 атм).

Радиоактивные изотопы находят применение и при изготовлении некоторых лекарственных веществ. Дело в том, что обычный способ стерилизации нагреванием оказывается здесь часто непригодным,

особенно для антибиотиков (например, пенициллина, биомицина и т. д.). Использование для этой цели облучения γ - и β -лучами позволяет значительно упростить и удешевить существующие сейчас способы стерилизации.

Одновременно с использованием радиоактивных изотопов все большее значение приобретает *ядерная энергетика*, т. е. использование ядерных реакторов (в дальнейшем, вероятно, и термоядерных реакторов) на атомных электростанциях и в атомных двигателях.

К сожалению, первые применения ядерной энергии были направлены не на мирные, а на военные цели. Ядерная энергетика зародилась и выросла как следствие атомного вооружения. Но теперь,

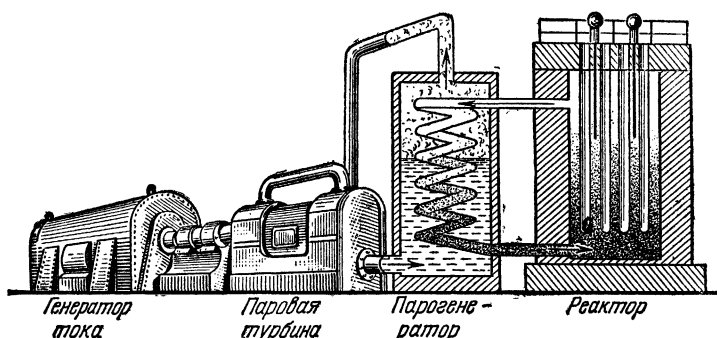


Рис. 425. Схема атомной электростанции.

когда раскрылись грандиозные перспективы использования атомной энергии в мирных целях, атомное вооружение превратилось в главное препятствие для ее развития, так как чудовищная по своему риску политика «на грани войны» влечет за собой все возрастающую непроизводительную растрату сил и средств и создает вреднейшие для развития науки барьеры секретности.

Первое мирное применение ядерной энергии в промышленных масштабах было осуществлено в 1954 г., когда в Советском Союзе вошла в эксплуатацию первая в мире атомная электростанция мощностью 5000 квт. Как уже указывалось выше, на этой электростанции был установлен реактор на тепловых нейтронах с графитовым замедлителем. В реактор загружался обогащенный уран, содержащий 5% изотопа U^{235} , и общая загрузка урана составляла около 550 кг.

Схема и принцип работы атомной электростанции иллюстрирует рис. 425. Основной схемы станции является двухконтурная система отвода тепла из реактора. Вода первичного контура под давлением 100 атм (при таком давлении температура кипения воды равна 309° С) циркулирует через реактор. Благодаря большому выделению тепла в активной зоне реактора вода нагревается и температу-

ра ее на выходе из реактора поддерживается на уровне 260—270° С. Эта горячая вода поступает в теплообменники-парогенераторы, где передает свое тепло воде вторичного контура. В результате нагрева вода во вторичном контуре превращается в пар, который приводит в действие турбогенератор.

Благодаря применяемой здесь двухконтурной схеме отвода тепла исключается возможность проникновения радиоактивного пара в турбину и ее коммуникации. В результате для обслуживания турбогенератора не требуется применения какой-либо биологической защиты от радиоактивных излучений. Как известно, обычная вода является хорошим замедлителем нейтронов, а также довольно сильно поглощает тепловые нейтроны. Поэтому даже небольшие изменения плотности воды, проходящие через активную зону реактора, связанные с изменением температуры или с появлением утечки, способны оказать заметное влияние на ход ядерной реакции. В силу этого для надежного управления реактором желательно не допускать изменения плотности воды, а также ее кипения, так как последнее приводит к увеличению отложения солей на стенках каналов, по которым протекает вода (именно с этой целью давление воды в первичном контуре выбрано равным 100 атм).

Управление атомной электростанцией осуществляется с центрального пульта, где расположены приборы контроля за работой оборудования, показывающие положение управляющих стержней, давление, расход и температуру воды в первичном контуре, параметры пара, мощность реактора и др. Большое внимание уделено контролю за уровнем γ -излучения во всех помещениях электростанции, что обеспечивает безопасность работы персонала.

Ниже в хронологическом порядке перечислены основные этапы работ по использованию ядерной энергии.

1939 г. Открыто (в Германии, Ганом и Штрасманом) явление деления ядер урана. За год опубликовано более 100 исследований этого явления, после чего работы в этой области засекречены.

1942 г. Построен (в Чикаго, Ферми) и испытан (при ничтожной мощности: 200 ат) первый ядерный реактор.

1943—1944 гг. В США на научную разработку атомной бомбы ассигновано 2 млрд. долларов. В несколько месяцев сооружена лаборатория в Лос-Аламосе и оснащены реакторами Аргонская и Окриджская лаборатории. В Хэнфорде сооружены производственные реакторы по выработке плутония, в Окридже — завод обогащения урана.

В 1945 г. В июне произведен первый экспериментальный взрыв атомной бомбы из плутония. Приборы, помещенные в массивной стальной башне, к которой была подвешена бомба, вместе с башней распылены и расплавлены. В августе урановой и плутониевой бомбами разрушены японские города Хиросима и Нагасаки; погибло более 100 тыс. человек. Тротиловый эквивалент бомб оценен в 20 000 т.

В ноябре 1952 г. на атолле Энвиетоке американцы произвели первое наземное испытание термоядерного оружия ¹⁾. В книге «Атомные взрывы», изданной

¹⁾ При взрыве 1952 г. в Энвиетоке образовалась воронка радиусом 750 м и глубиной 50 м; взрывом было выброшено около 50 млн. т земли; огненный шар при взрыве достиг радиуса почти 3 км.

индийскими физиками (русский перевод ИЛ, 1958), тротилловый эквивалент наиболее мощных «водородных бомб», испытанных в период 1952—1956 гг., оценен ориентировочно в 10—15 млн. *т*¹⁾.

1954—1958 гг. В июле 1954 г. в СССР введена в эксплуатацию первая в мире атомная электростанция на 5000 *квт*. В 1957—1958 гг. построены первые атомные электростанции: в США (в Шиппингпорте), в Англии (в Колдер-Холле) и Франции (в Маркуле). В СССР принята программа строительства больших атомных электростанций мощностью в несколько сот тысяч *квт* и менее мощных экспериментальных станций разного типа. В осуществление этой программы в Воронежской области и на Урале сооружаются мощные атомные электростанции. В 1958 г. пущена первая очередь атомной электростанции в Сибири на 100 000 *квт*.

В январе 1955 г. в США осуществлен рейс подводной лодки с атомным двигателем.

В августе 1955 г. на Первую международную конференцию (в Женеве) по мирному использованию атомной энергии представлено более 1000 научных докладов.

В 1958 г. в Женеве состоялась Вторая международная конференция по мирному использованию атомной энергии.

В 1957—1959 гг. в СССР построен мощный ледокол с атомным двигателем.

§ 121. Ядерные реакции в звездах

Замечательно, что для понимания космических событий — рождения, развития и угасания звезд — из всего многообразия физических и химических процессов наиболее важным оказалось изучение ядерных превращений, т. е. явлений, происходящих с наимельчайшими частицами вещества. В истории жизни звезд многое еще остается неясным, но главное, что длительное время оставалось загадкой, — происхождение звездной и, в частности, солнечной энергии — теперь, хотя в общих чертах, может считаться раскрытым. Источником звездной энергии служат термоядерные реакции.

Спектроскопическое исследование звезд позволяет по распределению энергии в спектре сделать заключение об их поверхностной температуре. По современным данным температуры поверхностей различных звезд заключены в пределах 2000—50 000°.

Изучение движения двойных звезд позволяет определить массы звезд. Они оказываются близкими к величине 10^{27} *т*. С помощью интерферометрических измерений и других косвенных методов можно оценивать размеры звезд. Имеются звезды, радиусы которых в сотни раз превышают радиус Солнца (звезда Бетельгейзе, альфа Геркулеса), и звезды с радиусами, составляющими только сотые доли солнечного (спутник Сириуса и др.).

¹⁾ При каждом экспериментальном взрыве термоядерной бомбы с тротилловым эквивалентом 10 млн. *т* выделяемая энергия ($\sim 10^{10}$ *квт-ч*) превышает энергию всех взрывов вместе взятых, проведенных во всех войнах за всю историю человечества.