

ФИЗИКА НАШИХ ДНЕЙ

502.7

## ГЛОБАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ЭНЕРГИЯ \*)

*И. Л. Капица*

Глобальные проблемы — это проблемы, которые нужно решать в масштабах всего земного шара. Еще в древние времена такие проблемы описывали в художественных и религиозных книгах; это были, например, страшный суд, всемирный потоп.

Сейчас глобальные проблемы стали реальны, и необходимость их решения является крупнейшей социальной и научной задачей всего человечества. Отыскать и обосновать эти решения должны ученые, а осуществить их в международном масштабе должны государственные деятели. Поэтому сейчас изучение этих проблем все больше и больше становится в центре деятельности как ученых, так и общественных деятелей.

Причина возникновения глобальных проблем хорошо известна: человек отличается от животного в основном тем, что животное приспосабливается к природе, а человек ее переделывает и приспосабливает к своим потребностям. В наш век, благодаря увеличению численности людей на земном шаре и с ростом материальной культуры, стали осуществляться технические и энергетические процессы, которые начали изменять природу всего земного шара. Сейчас становится очевидным, что некоторые из этих изменений настолько значительны, что представляют опасность для благополучного существования всего человечества.

Впервые это было осознано людьми, когда стала возможна ядерная война. Теперь уже общепризнано, что при возникновении ядерной войны существующих уже сейчас запасов атомных бомб не только достаточно, чтобы истребить значительную часть народонаселения, но, главное, так отравить радиоактивностью земной шар, что оставшая часть населения либо погибнет, либо принуждена будет вести существование, подобное существованию доисторического человека.

Пока люди, управляющие государством, это осознают и руководствуются разумом, а не эмоциями, возможность возникновения ядерной войны будет находиться под контролем.

Перед тем как перейти к анализу некоторых конкретных глобальных проблем, я думаю, полезно указать на одну их общую черту, на которую обычно недостаточно обращают внимание.

Это общее свойство заключается в том, что явления, связанные с глобальными проблемами, обычно развиваются по закону, определяемому так называемой геометрической прогрессией, или, иначе говоря, — экспоненциально. По отношению к росту населения это было впервые отмечено еще два века назад.

\*) Лекция, прочитанная в Стокгольмском университете 5 мая 1976 г.

Закон геометрического роста таит в себе одно, скорее неожиданное, свойство — он неизменно ведет к явлению, которое принято называть взрывом.

Это было замечено еще в древние времена. В одной восточной сказке рассказывается о том, как какому-то царю какой-то мудрец оказал значительную услугу. Желая отблагодарить мудреца, царь предложил ему самому выбрать вознаграждение. Мудрец попросил заплатить ему зерном. На первый квадрат шахматной доски он просил положить одно зерно, на второй квадрат в два раза больше — два зерна, на третий — четыре

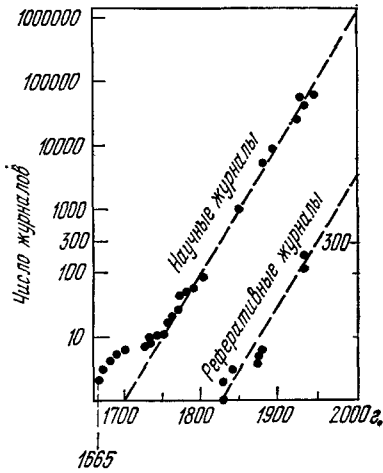


Рис. 1. Рост числа научных журналов с 1665 г.

зерна, и так, по геометрической прогрессии, до 64-го квадрата. В предании говорится, что царя поразила скромность мудреца, но когда стали осуществлять расплату, то оказалось, что она превосходила все средства царства. Эта задача часто дается у нас в старших классах школы, и вычисления дают, что суммарно вес зерен будет более ста миллиардов тонн; это более чем десятикратный годовой мировой сбор зерна!

Но есть еще одно свойство процессов, развивающихся по геометрической прогрессии. Нетрудно показать, что не только количество, но и скорость нарастания количества тоже следует геометрической прогрессии. Это приводит к тому, что за достаточный промежуток времени эта скорость может стать тоже как угодно велика. Быстро развивающийся процесс принято называть взрывом.

Это объясняет, почему сейчас мы говорим о демографическом взрыве, хотя прирост населения на земном шаре в нашем столетии остается в среднем около 2% в год. Интересно, что мы также говорим о научно-технической революции, как будто необычайно бурный рост науки начал сейчас происходить внезапно. На самом деле этого нет, и это можно показать следующим образом.

На рис. 1 нанесены по горизонтальной оси годы, а по вертикальной оси, в логарифмической шкале, число издаваемых всюду научных журналов<sup>1</sup>. Как видно, за последние 300 лет, т. е. после того, как благодаря книгопечатанию и возникновению почтовой связи наука начала развиваться в международном масштабе, число журналов росло по геометрической прогрессии, и их число неизменно удваивается каждые 14 лет. Конечно, естественно считать, что количество публикуемых научных работ пропорционально деятельности ученых; тогда рост количества журналов характеризует рост науки.

Как видно из этого рисунка, закономерность экспоненциального роста не нарушается и по сей день, и математически ни о каком взрыве говорить не приходится. Очевидно, процесс, развивающийся по геометрической прогрессии, должен дойти до предела и прекратиться. Приближение к этому пределу будет иметь характер взрыва.

Приведу еще один совсем близкий нам пример явления, развивающегося по геометрической прогрессии до определенного предела, — это инфекционные болезни. В организм человека попадает инфекция; положим, это микроб, который размножается делением каждый час. Число микробов

в организме человека начинает расти так же, как число зерен на квадратах шахматной доски. Нетрудно подсчитать, что за три дня число микробов достигает астрономической цифры  $10^{21}$ , что невозможно, так как вес микробов превысил бы вес человека. Конечно, до этого процесс должен прекратиться, и всем хорошо известно, как это происходит при заболевании. Когда концентрация микробов достигнет некоторой величины, человек чувствует себя больным, и это происходит внезапно, как взрыв. Дальше процесс может прекратиться тремя возможными путями: либо в организме человека прекращается размножение микробов и человек выздоравливает, либо микробы продолжают размножаться и человек гибнет вместе с микробами. Наконец, имеется еще особое решение — это равновесие, когда человеческий организм уничтожает столько микробов, сколько их возникает. Тогда болезнь переходит в хроническое состояние.

Инфекционное заболевание, которое развивается по геометрической прогрессии, во многом аналогично тем глобальным процессам, которые начали происходить на земном шаре. Мы сейчас внезапно почувствовали себя больными, и, чтобы не погибнуть, пора подумать, как нам лечиться. Но для этого, конечно, надо понять природу нашего заболевания.

Конечно, одна из главных глобальных проблем — это непрекращающийся экспоненциальный рост населения земного шара, особенно сильный в некоторых странах. Этот рост рано или поздно должен прекратиться хотя бы потому, что не будет хватать пищи для жизни людей.

Задача, которая стоит перед людьми, заключается в том, как безболезненно прекратить этот рост, т. е. не путем смерти от голода, как это начинает происходить сейчас.

Хорошо известно, что эта проблема сейчас широко обсуждается, но общепризнанных путей для ее разрешения пока не найдено. Мы этой проблемы касаться не будем, мы ограничимся тем, что примем, что в ближайшее столетие так или иначе число людей на земном шаре заметно не будет изменяться. Мы сосредоточимся на проблеме, как обеспечить людям достаточно высокий и постоянный уровень цивилизованной жизни, и покажем, что это осуществимо, только если в глобальном масштабе будет решена проблема энергетики.

Связь между уровнем цивилизованной жизни и энергообеспечением людей хорошо известна. Она наглядно иллюстрируется на рис. 2, где для ряда стран по горизонтальной оси отложен валовый национальный продукт, исчисляемый в год на одного человека и выраженный в долларах, по вертикальной оси — потребление на человека энергии в пере-

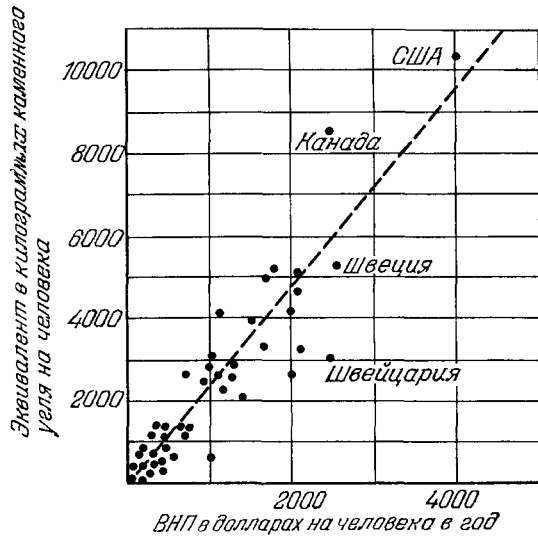


Рис. 2. Потребление энергии и валовый национальный продукт (ВНП) на человека. Данные относятся к 1968 г., составлены по материалам ООН и Международного банка реконструкции и развития.

счете на каменный уголь (в килограммах в год)<sup>2</sup>. Как видно из диаграммы, в пределах естественной флуктуации существует простая пропорциональность между приходящимся на человека валовым продуктом и энергоресурсами страны. Это, конечно, вполне понятно: чтобы изготовить любой предмет, нужно произвести работу и, следовательно, затратить энергию. Статистика показывает, что в наиболее развитых странах на человека приходится в среднем 10 киловатт. Это в сотни раз больше энергии, производимой мускульной работой человека. Таким образом, рост материального благосостояния человека теснейшим образом связан с производимой энергией. Сейчас потребление энергии быстро возрастает, и не только потому, что происходит рост материального уровня жизни людей в развитых странах, но, главное, благодаря необходимости поднять уровень жизни в развивающихся странах. Кроме того, рост потребления энергии связан с необходимостью решения ряда возникающих глобальных проблем.

Как известно, сейчас начало происходить истощение запасов минерального сырья, необходимого для промышленности, главным образом металлов, таких, как серебро, олово, медь и ряд других. Это приводит к необходимости их извлечения из более бедных по содержанию руд. Уже сейчас оказывается необходимым добывать некоторые металлы (как, например, магний), растворенные в морской воде. Это требует на единицу веса больших энергозатрат.

Потребление энергии будет также возрастать при борьбе с загрязнением окружающей среды, которое уже происходит в глобальном масштабе и начинает принимать угрожающие размеры. Известно, что технологические процессы, при которых отсутствуют вредные отбросы в таких производствах, как, например, бумажное, ведут к увеличению потребления энергии.

Дальнейшее повышение эффективности сельского хозяйства требует производства минеральных удобрений, в частности, связывания азота воздуха, что также приводит к росту энергетических затрат.

Наконец в будущем можно предположить, что с развитием химической технологии и возникновением возможности производства из неорганических веществ органических, включая белки, возникнет возможность обеспечить питание людей синтетическими продуктами, делая его все менее зависимым от продуктов, получаемых сейчас от сельского хозяйства. Это тоже потребует энергозатрат.

Такая роль энергетики в развитии материальной культуры человечества и объясняет, почему сейчас мировое потребление энергии растет по геометрической прогрессии и за последнее 15-летие прирост составляет 5% в год. Это наиболее высокий показатель роста в мировом народном хозяйстве, и всюду капиталовложения в энергетику являются доминирующими.

В силу этой ведущей роли энергетики в народном хозяйстве преодоление надвигающегося сейчас энергетического кризиса представляет для человечества наиболее крупную глобальную проблему.

Причина надвигающегося кризиса очевидна и хорошо осознана. Не менее 90% источников энергии, которые используются сейчас, являются горючими веществами, как уголь, нефть, газ и др. В них химическая энергия была накоплена благодаря биологическим процессам в продолжение тысячелетий. Оказывается, что при современном темпе их использования их запасы на земном шаре будут исчерпаны в недалеком будущем. Конечно, определить точно, когда это произойдет, нельзя, но вполне уверенно можно считать, что это произойдет через одно-два столетия. Конечно, это время можно продлить при более экономном использовании

энергии, путем улучшения технологии и прекратив затраты энергии на вооружение и пр. Это только отсрочит кризис, но его нельзя предотвратить, поскольку, согласно закону сохранения энергии, мы не можем осуществить *перпетуум мобиле*, с помощью которого мы бы получали энергию. Поэтому, если не будут найдены другие источники получения энергии взамен используемого сейчас ископаемого топлива, произойдет неизбежный спад в потреблении энергии, а следовательно, и в материальном благосостоянии людей.

Путь решения этой проблемы совершенно очевиден — нужно найти источники энергии, которые бы практически не иссякали со временем. Основные из них хорошо известны — это солнечная радиация, геотермальное тепло, гидроэнергия рек и морских приливов. Но, как показывает анализ<sup>3</sup>, они не могут в необходимом масштабе достаточно экономно решить проблему.

Главная трудность возникает оттого, что большая часть потребляемой сейчас в народном хозяйстве энергии идет на тяжелую промышленность (металлургия, машиностроение, транспорт, строительство и пр.). Чтобы удовлетворить эти потребности, необходима дешевая энергия мощностью в сотни миллионов киловатт. Она во много раз больше той энергии, которую мы называем «бытовой» и которую мы употребляем для холодильников, стиральных машин, телевизоров и пр. Если бы мы захотели удовлетворить энергетические запросы всего народного хозяйства путем использования поступающей от Солнца энергии радиации, то для того, чтобы получить мощности только в один миллион киловатт, необходимо ее снимать с площади в 10 квадратных километров.

Подсчеты показывают, что при всех предложенных методах превращения солнечной радиации в механическую или электроэнергию затраты на капиталовложения не оправдаются получаемой энергией. Это обусловлено тем, что для эффективного использования энергии ее поток должен обладать достаточной плотностью. Солнечная энергия такой плотностью не обладает.

Расчеты показывают, что геотермальное тепло из-за плохой теплопроводности земной коры также не обладает достаточной плотностью потока энергии, чтобы оно могло быть рентабельно использовано. Только в районах, где находятся вулканы, геотермальное тепло имеет достаточную плотность потока энергии, чтобы быть полезно использованным. Но таких районов мало. Например, в Италии геотермальное тепло уже много лет успешно используется, но оно составляет только 2% энергетического баланса страны.

Несколько лучше обстоит дело с использованием гидроэнергии. Практика показывает, что рентабельно электроэнергия генерируется только при больших напорах в гористых районах. Это ограничивает масштабы использования гидроэнергии. В мировом энергетическом балансе гидроэнергия составляет сейчас не более 5%, и, по-видимому, это предел.

Еще хуже обстоит дело с использованием ветра. Плотность потока его энергии не только мала, но крайне непостоянна.

Но все же жизнь показывает, что использование энергии Солнца, ветра и воды может быть полезным людям для решения энергетических проблем масштабов бытового хозяйства, где за энергию можно платить значительно больше. Что касается решения основной проблемы энергетики больших мощностей, то эти источники не могут помочь преодолеть надвигающийся энергетический кризис.

Если бы этот энергетический кризис начал возникать 40 лет назад, до открытия ядерной энергии, то человечество, несомненно, стояло бы перед катастрофой, а человеческая культура зашла бы в тупик.

Но в наше время можно с полной уверенностью утверждать, что источники ядерной энергии дают научно обоснованную возможность решить надвигающийся энергетический кризис.

Но все же и на этом пути стоят свои трудности, которые людям еще предстоит преодолеть.

Как известно, сейчас существуют два реальных пути получения энергии больших мощностей в ядерных процессах. Первый — это выделение энергии при распаде ядер тяжелых элементов, как уран, которое происходит под влиянием нейтронной бомбардировки. Этот процесс имеет характер цепной реакции и сам себя поддерживает. Он хорошо изучен, и на его основе осуществляется атомная бомба того типа, которая была сброшена на Хиросиму и Нагасаки. В энергетических реакторах эта реакция замедляется, становится стабильной, и получаемая энергия успешно используется для рентабельного получения тепла и электроэнергии в масштабах миллионов киловатт. Запасов урана в природе при их экономном использовании в реакторах особого типа, так называемых «бридерах», может хватить на тысячелетия. К тому же, некоторые ученые утверждают, что добыча урана, растворенного в морской воде, практически в неограниченном количестве, уже сейчас может стать рентабельной.

На пути перехода всей энергетики на ядерное топливо лежат следующие общепризнанные трудности<sup>3</sup>, которые необходимо преодолеть.

Основная из них заключается в том, что при использовании в качестве ядерного топлива урана в реакторах происходит накопление большого количества радиоактивных веществ, и если произойдет авария и содержимое реактора вырвется наружу в окружающую среду, то возникнет отравление живых существ и, главное, конечно, людей. Ужасы отравления радиоактивными веществами людей хорошо известны по последствиям атомных бомб, сброшенных американцами на Хиросиму и Нагасаки. Оказалось, что от радиоактивного отравления часть людей гибнет в короткий промежуток времени. Другая же часть населения гибнет на протяжении нескольких лет, обычно от лейкемии или других видов ракового заболевания.

Прорыв наружу радиоактивного содержания реактора может произойти, если в реактор перестанет поступать охлаждающая его вода. Тогда элементы реактора перегреваются, окружающая его защита разрушается и содержимое вырывается наружу. На языке специалистов это называется: «расплав активной зоны» (core melt down). Чтобы это не могло произойти, применяется ряд предохранительных устройств. Надежность этих предохранительных мер оценивается численно: вычисляется вероятность, с которой может произойти авария. На построенных в США атомных станциях вероятность аварий до сих пор конструкторами реакторов оценивалась в миллиардную долю, и их считали просто невозможными. Многие, однако, считали эти расчеты нереальными.

Надежность такого рода оценок была в корне поколеблена аварией, происшедшей на электростанции Браунс Ферри (Browns Ferry) в Калифорнии в марте 1975 г. Примерно через год было опубликовано официальное заключение комиссии<sup>4</sup>, назначенной выяснить причину этой аварии. Я приведу из заключения только несколько характерных черт этого происшествия. Авария произошла от пожара, который возник под помещением, где находится центр управления электростанцией. Загорелись кабели. Причина пожара — простая свечка, посредством которой рабочий старался обнаружить утечку из трубы, по которой подводился сжатый воздух.

Только через 15 минут после возгорания, когда убедились, что имеющиеся противопожарные средства недостаточны, начали вызывать пожар-

ную команду. Тогда оказалось, что номер ее телефона был перепутан. Только через час после возгорания приехала пожарная команда, и тогда обнаружилось, что не имеется инструкций, как тушить пожар на ядерной электростанции. Поэтому в продолжение 6 часов не знали, что делать, а потом стали просто тушить пожар водой, что оказалось вполне успешным. Комиссией было установлено, что поскольку аварийное водоснабжение было выведено из строя, то, если бы пожар не был погашен, через небольшое время элементы в реакторе перестали бы охлаждаться водой и произошла бы катастрофа, подобная той, о которой я говорил выше. Следует отметить, что атомная станция Браунс Ферри находится в густонаселенном районе. Поскольку предусмотренные меры по эвакуации населения не были приняты, то по количеству погибших и отравленных людей эта катастрофа была бы сравнима с катастрофой Хиросимы.

Конечно, эта авария показала, что математические методы расчетов вероятности такого рода происшествий неприменимы, поскольку, как было в данном случае, не учитываются вероятности того, что происходит из-за ошибок в поведении людей: рабочего со свечой, неправильно записанного кем-то номера телефона, того, что никто не предусмотрел инструкцию для тушения пожара на атомных станциях и пр.

Сейчас, когда стали известны подробности этой аварии, возник вопрос о дальнейшей судьбе атомной энергетики в США.

В Калифорнии находится 35% всех атомных электростанций США. Поэтому население этого штата (20 миллионов человек) очень обеспокоено тем, что большая часть этих станций построена по типу Браунс Ферри и к тому же предполагается построить еще целый ряд аналогичных станций. Полмиллиона людей подписали петицию, в которой они требовали от правительства штата не только прекратить строительство таких станций, но и закрыть уже существующие в Калифорнии атомные станции. Согласно законам штата по этому вопросу должен быть референдум, и, чтобы получить разрешение на дальнейшую постройку атомных станций, нужно 2/3 голосов<sup>5</sup>. Референдум состоялся летом 1976 г., и около 70% опрошенных высказалось за развитие атомной энергетики, но при усилении мер, обеспечивающих надежность эксплуатации атомных электростанций<sup>6</sup>).

В США сейчас уже работает 59 ядерных реакторов, они производят 4% всей потребляемой электроэнергии. Проектируется дальнейшее широкое развитие ядерной энергетики, поэтому сенат чрезвычайно серьезно отнесся к аварии на Браунс Ферри и в специальном комитете по атомной энергии разбирался вопрос о надежности ядерных электростанций. Сейчас опубликованы<sup>6</sup> пространные показания в этом комитете трех ведущих конструкторов, по проектам которых строилось большинство ядерных реакторов, в том числе и Браунс Ферри. В показаниях приводятся данные о большом количестве аварий и выявляется совершенно не удовлетворительное обеспечение безопасной эксплуатации реакторов. Они считают, что при существующих в США условиях для развития ядерной энергетики катастрофа масштабов Хиросимы рано или поздно произойдет. Это подтверждается еще и тем, что сейчас в США ни одна страховая компания

---

\*) Чтобы обеспечить возможность дальнейшего развития атомной энергетики в штате Калифорния, ассамблея штата приняла перед самым референдумом, 3 июня 1976 г., ряд законов, которыми установила строгий контроль над обеспечением безопасности атомных электростанций (проектирование и эксплуатация), включая возможное их строительство под землей. Также в законодательном порядке устанавливалась необходимость обеспечения безопасности в обращении с ядерным горючим и его шлаками. Эти мероприятия оказали влияние на исход референдума, проведенного 8 июня 1976 г.

не берется страховать ядерные электростанции. Эти ведущие конструкторы реакторов сейчас покинули фирму «Дженерал электрик», мотивируя это тем, что морально не чувствуют себя в силах нести ответственность за безопасную работу существующих электростанций, за последствия бедствий, которые могут принести возможные аварии.

Но, конечно, в современных условиях глобальные проблемы энергетики больших мощностей без ядерной энергии нельзя будет решить, и, несомненно, выход из создавшегося положения будет найден. Он должен основываться на том, что при любой аварии, которая может произойти в реакторе на атомной электростанции, она ни при каких обстоятельствах не должна принять характер катастрофы Хиросимы. Сейчас уже предлагаются решения, и заключаются они, например, в том, чтобы помещать ядерные реакторы электростанций под землей на достаточной глубине, как это делается сейчас при подземных испытательных атомных взрывах. По-видимому, хотя это и удорожит постройку электростанций, но может сделать их вполне безопасными.

Другое возможное решение — это помещать атомные электростанции в районах, где нет населения, например на необитаемых островах, и превращать генерируемую ими энергию в химическую: например, разлагать воду, а водород в жидком виде использовать как топливо. Это топливо будет намного лучше нефти, так как при сгорании оно не будет загрязнять воздух.

Прежде, чем решать вопрос о широком развитии атомной энергетики, нужно еще отметить, что атомная энергетика на урановом топливе требует решения еще нескольких задач.

Самая трудная из них — это захоронение радиоактивных шлаков. Трудность заключается в том, что их радиоактивность весьма велика и к тому же весьма медленно иссякает. Поэтому любые контейнеры, в которые их захоронят, со временем под влиянием излучения могут разрушаться, и радиоактивность сможет распространиться. Подсчеты показывают, что при переходе на ядерную энергетику как основную возникающее количество радиоактивных отходов становится таким большим, что их надежное захоронение становится трудноразрешимой задачей, и пока четкого и общепринятого решения этой проблемы нет.

Наконец, в капиталистических странах есть еще одна проблема, не технического, а международно-политического характера, которая тоже требует решения. Известно, что для более полного использования урана применяются реакторы с быстрыми нейтронами, они называются «бридерами». В них уран почти полностью превращается в плутоний, который является лучшим атомным «горючим». Со временем это приведет к тому, что плутоний станет очень распространенным и доступным. Но плутоний является основным элементом, из которого делается атомная бомба. Для того чтобы сделать бомбу, нужно его иметь только несколько килограммов, и, к тому же, сейчас конструкция атомной бомбы уже не является секретом. При этих условиях не исключена возможность, что предприимчивая группа гангстеров без особого труда может использовать атомную бомбу для шантажа.

Несомненно, люди, поставленные перед надвигающимся энергетическим кризисом, найдут выход и смогут преодолеть перечисленные трудности, связанные с использованием ядерной энергии, генерируемой при распаде урана. Но сейчас уже становится очевидным, что решение этой проблемы нужно будет эффективно осуществлять в международном масштабе.

Я упомяну также, только коротко, о других методах использования ядерной энергии, поскольку пока еще они практически не реализованы.



Прежде всего это метод получения энергии не путем разложения тяжелого атома, как уран, а, наоборот,— процессом синтеза легких атомов, который, как известно, может происходить с энергетическим выходом.

Это так называемый термоядерный процесс. Сейчас он осуществляется в водородной бомбе, где благодаря синтезу изотопов водорода получают гелий и нейтроны. Этот процесс сопровождается большим выходом энергии и происходит только при очень высокой температуре — в сотни миллионов градусов. При этой температуре все вещества находятся в газообразном состоянии в виде плазмы, когда в атомах электроны полностью отделяются от их ядер.

Оказывается, создать такую плазму на короткий промежуток времени, за который происходит взрыв атомной бомбы, вполне осуществимо. Этот процесс происходит в так называемой водородной бомбе, которая сейчас является в сотни раз более мощной, чем урановая или плутониевая.

Чтобы использовать для получения энергии термоядерную реакцию, нужно найти способ ее вести непрерывно и, по сравнению с водородной бомбой, в небольших масштабах. Это практически оказалось весьма трудно осуществимой и пока еще технически не решенной задачей<sup>7</sup>.

Во всем мире над ней сейчас усердно работают ученые и инженеры. Хотя задача еще не решена, но пока не выявлено никаких принципиально непреодолимых научно-технических препятствий, стоящих на пути ее решения, и мне лично думается, что со временем управляемый термоядерный синтез будет осуществлен.

Найти это решение очень важно, так как полученная этим путем энергия не связана с трудностями, возникающими при использовании уранового горючего, о которых я говорил. При термоядерной реакции количество накопленной радиоактивности столь мало, что ее присутствие не создает опасности. Термоядерный процесс не может быть использован для создания атомных бомб.

И, наконец, горючее, которое используется в термоядерных реакторах,— изотоп водорода дейтерий, и его запасов в океане вполне достаточно, чтобы обеспечить человечество энергией на много тысячелетий. За это время, конечно, найдутся еще другие методы решения энергетических проблем.

Наконец, есть еще один метод получения энергии в больших масштабах. Практически, по-видимому, он неосуществим, но научно вполне обоснован. На основе наших современных космогонических представлений считается, что, когда создавалась наша Вселенная, могла возникать и другая, ей равновеликая, но только состоящая из антивещества. Существование антивещества доказано экспериментально, его получают в ускорителях, правда, в количестве отдельных ядер. Одно из свойств антивещества заключается в том, что при соприкосновении с веществом они оба аннигилируют и превращаются в энергию. Не представляет труда подсчитать, что один грамм в такой реакции дает энергию, эквивалентную получаемой при сгорании 10 000 тонн каменного угля. Таким образом, одной тонны антивещества было бы вполне достаточно, чтобы сейчас обеспечить на год энергией весь земной шар.

Но как получить из антимира это антивещество? Высказывалось предположение, что небольшое количество антивещества могло бы проникать в виде метеоритов в наше космическое пространство, поскольку оно очень разрежено. Их столкновения с атомами были бы настолько редки, что, проникнув в наш космос, они не полностью аннигилировали бы. Улавливая с помощью спутников это вещество из космического пространства и доставляя его на Землю, мы могли бы иметь наиболее совершенный

источник энергии. Известно, что попытки найти антивещество в космическом пространстве пока не увенчались успехом.

Но даже если антивещество и находится в нашем космическом пространстве в виде антиметеоритов, то как его извлечь и доставить на Землю так, чтобы оно при этом не соприкасалось с веществом? Задача эта представляется весьма трудной, а возможно, даже вообще неразрешимой. Но жизнь нас учит, что ряд процессов, которые считались невероятными, все же осуществлялись. Об этом забывать не следует.

Заканчивая научную сторону рассмотрения проблемы обеспечения людей энергией большой мощности, я коснусь вкратце одной социальной и политической стороны этой проблемы, связанной с ее глобальным характером.

Совершенно очевидно, что все глобальные проблемы придется решать в международном масштабе. Основная трудность осуществления необходимых решений будет заключаться в том, что их требования часто будут противоречить интересам отдельных стран. Основная социально-политическая задача сводится к тому, как подчинить интересы отдельных государств интересам всего человечества в целом.

Тут высказывается ряд мнений. Одни считают, что это вообще неосуществимо, что надо предоставить развитию человеческой культуры полную свободу. До сих пор в продолжение миллионов лет человечество путем проб и ошибок само находило путь развития цивилизации. Найдет и сейчас.

Другое мнение, более конструктивное, как многие справедливо считают, — что необходимость решать глобальные проблемы приведет человечество к построению общества с социалистической структурой и что только при такой организации общества можно осуществить совмещение интересов отдельных государств с интересами всего человечества<sup>8</sup>...

Для решения глобальных проблем необходимо, чтобы целый ряд областей народного хозяйства, связанных с экологическими проблемами, перешел под международный контроль. К этому уже сейчас начинают склоняться. Например, все чаще раздаются призывы к тому, чтобы эксплуатация мирового океана, и в особенности добыча сырья из его недр, контролировалась бы Организацией Объединенных Наций.

Проблему энергетического снабжения и использования энергетических ресурсов тоже становится необходимым решать в международном масштабе. Это уже начало осуществляться при создании Международного агентства по атомной энергии, основная функция которого и есть управление ресурсами и безопасностью использования атомной энергетики в глобальном масштабе.

Эффективное решение глобальных проблем станет возможным только в том случае, если их значимость для судеб человечества будет широко осознана людьми, а это возможно только при широком обсуждении этих проблем. Поэтому ученые должны заботиться, чтобы обсуждение велось на строго научной основе. Конечно, в основу решения глобальных проблем должны быть положены этические обязательства человека перед обществом.

Институт физических проблем  
АН СССР

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. D. P r i c e, Little Science, Big Science, N.Y., 1963 (имеется перевод: Д. П р а й с, Малая наука, большая наука, в сб. Наука о науке, М., «Прогресс», 1966).
2. D. H. M e a d o w s, D. L. M e a d o w s, J. R a n g e r s, W. W. B e h r e n s III, The Limits to Growth, N.Y., 1972.
3. П. Л. Капица, УФН 118, 307 (1976).

4. Fire at a Nuclear Plant, U. S. News and World Report, February 16, 1976.
5. Les déserteurs de l'atome, Le Nouvel Observateur, 1—7 Mars 1976.
6. Testimony of Dale G. Bridenbaugh, Richard B. Hubbard, Gregory C. Minor before the Joint Committee on Atomic Energy (February 18, 1976), Washington, 1976.
7. П. Л. Капица, Письма ЖЭТФ 22, 20 (1975).
8. П. Л. Капица, Вопросы философии, № 2, 37 (1973).