



ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

УД14;82

P3-82-636

А.М.Петросьянц

## НЕЙТРОН И ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Лекция на IV Международной школе  
по нейтронной физике  
/Дубна, 8-18 июня 1982 г./

1982

Отмечая пятидесятилетие со дня открытия нейтрона, хотелось бы подчеркнуть тот факт, что 1982 год является юбилейным не только для ядерной физики, но и для физики вообще. Чтобы понять это, обратимся к истории.

В течение последних столетий в естествознании последовательно сменились три концепции, различным образом трактующие природу микромира. Первая - механистическая, сложившаяся в XVII веке и просуществовавшая до конца XIX века. Вторая - электромагнитная, возникшая в XIX веке и укрепившаяся в начале XX века. И, наконец, третья - соединившая в себе некоторые черты первых двух и вместе с тем коренным образом отличающаяся от них.

Она возникла в основном в трехлетие /1932-1934/, будучи обусловлена целым рядом открытий в физике. Ее основа в значительной степени связана с открытием нейтрона, тяжелого водорода/дейтерия/ и его ядра/дейтрона/ в 1932 году, а также с обнаружением позитрона /1933/ и искусственной радиоактивности /1934/. Таким образом, центром исследований стал атом и его структура. Этим и была вызвана смена двух предыдущих концепций - новой, более полной.

Как известно, первые трудности электромагнитной концепции микромира начались еще в 20-х годах XX века. Уже квантовая механика несла в себе совершенно новые взгляды на микропроцессы. Явно не противореча электромагнитной концепции, она фактически выдвинула новые положения, новые идеи. Так, в основу многих уравнений квантовой механики входило значение массы микрочастиц, а открытие спина у электрона Гаудсмитом и Уленбеком /1925/ и выдвижение принципа запрета Паули /1926/ противоречили существовавшим до тех пор представлениям.

Но наиболее существенной оказалась гипотеза нейтрино, выдвинутая в 1931 году Паули с целью объяснения кажущихся аномалий в энергетическом распределении электронов, вылетающих при  $\beta$  - распаде. Гипотетическое нейтрино было четвертой элементарной частицей /после электрона, фотона и протона/, с которой столкнулась физика того времени. Если природу трех предыдущих можно было считать электромагнитной, то в отношении нейтрино это сделать было почти невозможно. Однако до 1932 года электромагнитная теория являлась все же господствующей.

Решающим шагом в признании новой физической идеи явилось открытие нейтрона Чадвиком /1932/. Это была пятая частица, найденная физикой.

История открытия нейтрона достаточно поучительна. Еще в 1920 году Резерфорд выдвинул предположение о возможном существовании нейтральной частицы. В конце 30-х годов Боте и Беккер

сообщили о проникающем излучении, проявляющемся при бомбардировке альфа-частицами ядер легких элементов. Особенно значительный эффект получался при бомбардировке бериллия. В качестве детектора излучения был использован счетчик Гейгера. Боте и Беккер предположили, что наблюдаемое излучение представляет собой поток гамма-квантов высокой энергии.

Почти одновременно с немецкими учеными Ирен и Фредерик Жолио-Кюри повторили эти опыты, используя источник полония большой активности. Между детектором, в качестве которого была применена ионизационная камера, и источником альфа-частиц они помещали парафиновые пластинки. Они установили, что и "бериллиевая радиация" выбивает из парафина протоны в достаточно большом количестве, и высказали мнение о том, что этот эффект обусловлен новым видом взаимодействия  $\gamma$ -квантов с ядрами.

Сотрудник Кавендишской лаборатории Чадвик повторил эти опыты, измерил пробеги протонов и установил, что "бериллиевое излучение" способно сообщить большие скорости не только ядру водорода протону, но и ядрам других легких элементов. Он показал, что если предположить, что новое излучение существует, а  $\gamma$ -лучи имеют большую проникающую способность, то энергия таких  $\gamma$ -квантов должна быть больше 50 МэВ, чтобы образовать в результате комптон-эффекта ядра отдачи наблюдаемых скоростей. На основании этого Чадвик отверг гипотезу о гамма-излучении и высказал смелое предположение, согласующееся с законами сохранения энергии и импульса, что неизвестная радиация представляет собой поток нейтральных частиц с массой, приблизительно равной массе протона. Большая проникающая способность этих частиц может быть легко объяснена отсутствием в них электрического заряда. Поэтому новую частицу Чадвик назвал нейтроном. Среди свойств нейтрона наибольшее недоумение вызвал магнитный момент как самим фактом существования у электрически нейтральной частицы, так и величиной, отличной от единицы /в ядерных магнетонах/. Если открытие нейтрона разрушило прежнюю электрическую картину мира, то открытие аномального магнитного момента нейтрона заставило изменить представления о связи электричества с магнетизмом. Путь к пониманию происхождения нейтронного магнетизма был открыт с учетом виртуальных состояний нуклона. Надо предположить, что часть времени своей жизни /~20%/ нейтрон находится в состоянии диссоциации на протон, электрон и антинейтрино, а магнитный момент этого электрона в основном и наблюдается как магнитный момент нейтрона. В те времена такое представление уже не было новым, однако оно позволило подтвердить справедливость такой вероятностной точки зрения.

Другим нетривиальным свойством нейтрона является его неустойчивость относительно распада на протон, электрон и антинейтрино. Вопрос о том, что происходит в действительности, упирался в вопрос о соотношении масс протона и нейтрона. Первые измерения позволили сделать заключение о вероятном превышении массы нейтрона над массой протона, а достаточно точный вывод

о возможности  $\beta$ -распада нейтрона впервые был сделан лишь в 30-х годах, прямое доказательство получено только в 40-х.

Определение периода полураспада нейтрона потребовало более значительных усилий, и только к концу 50-х годов была надежно установлена его величина: в пределах 12 мин. Этот факт является важным потому, что распад нейтронов - конечная причина всех  $\beta$ -распадов, а потому теория  $\beta$ -распада радиоактивных ядер есть прежде всего теория распада нейтрона. Она составляет историческое ядро общей теории слабого взаимодействия всех элементарных частиц.

Открытие нейтрона имело решающее значение для всей ядерной физики. Становилось ясно, что наряду с заряженными частицами существуют и электронейтральные, следовательно, в самой своей основе частицы имеют не электромагнитную природу. Далее, открытие нейтрона позволило строить модели атомного ядра, исходя лишь из представления о тяжелых частицах - протонах и нейтронах. Уже вводя понятие атомного ядра, можно было отметить, что вес ядра в атомных единицах примерно в два раза больше его заряда, выраженного в электронных единицах. Следовательно, переноса на ядро гипотезу Праута, можно представить его как состоящее из протонов, обеспечивающих необходимый вес, и электронов - в числе, необходимом для компенсации избытка положительного заряда протонов над атомным весом ядра. Однако такая модель противоречила значениям массы, спина и магнитного момента электрона и вызвала мысль о том, что все же в ядрах нет электронов. Параллельно развивалась другая мысль - о важной роли внутриядерной системы "протон-электрон", или "нейтрон". Поэтому в открытии нейтрона увидели повод для провозглашения обеих идей: была постулирована протонно-нейтронная модель ядра. Это было сделано Д.Д.Иваненко в апреле 1932 года, два месяца спустя после опубликования открытия нейтрона Чадвиком. Гипотеза Иваненко о протон-нейтронном составе ядер была опубликована в английском журнале "Nature" в мае 1932 года. В это же время Гейзенберг так же решительно утверждал, что нейтрон - "элементарная частица" и что протон и нейтрон - два состояния одной частицы. Отсюда вытекало предположение, что спин нейтрона равен половине. В области эксперимента открытие нейтрона давало широкие возможности использовать нейтрон в качестве идеального ядерного снаряда ввиду его электронейтральности.

Говоря о чудесном 1932 годе, следует упомянуть еще об одном важном открытии - это открытие тяжелого водорода /дейтерия/. У дейтерия химические и физико-химические свойства оказались заметно отличными от свойств легкого водорода. Все это означало, что рухнул центральный пункт прежней электромагнитной концепции о полной тождественности химических свойств изотопов одного и того же элемента и о зависимости этих свойств не от массовых чисел изотопов, а только от конфигурации электронной оболочки атома.

В том же году произошло еще одно важное физическое открытие: в марте 1932 года Кокрофт и Уолтон разработали способ ускорения протонов и впервые осуществили ядерную реакцию, расщепили ядро лития с помощью искусственно ускоренных протонов.

В октябре этого же года произошло событие, поразившее ученых мир физиков, а именно, в Харькове, в столице Украинской ССР, в Физико-техническом институте молодые ученые К.Синельников, А.Лейпунский, А.Вальтер и Г.Латышев разрушили ядро лития путем бомбардировки ядрами протона, ускоренными в разрядной трубке высоковольтного ускорителя. Это событие стало поистине сенсацией. То, что разрушение ядра лития было осуществлено в Англии, многими было воспринято как естественный ход научных событий, ибо это было сделано в крупнейшей лаборатории мира, под руководством прославленного Резерфорда; в лаборатории, великолепно оснащенной всеми видами современной аппаратуры и установок. Но то, что расщепление ядра лития было повторено спустя полгода в Харькове, в Советском Союзе, который только-только вышел из войн 1914-1917 годов и гражданской, разоренный, истощенный, поразило всех. Это было поистине чудо. А чудо объяснялось просто: Советское правительство с первых дней прихода к власти стало оказывать ученым всемерную помощь и поддержку, несмотря на все трудности разоренной страны.

Итак, открытия 1932 года стали поворотным пунктом в развитии всей ядерной физики, растущее значение которой побудило организовать в Ленинградском физико-техническом институте специальный отдел под руководством И.В.Курчатова. В приказе по ЛФТИ №64 от 15 декабря 1932 года в ядерную группу было зачислено 10 сотрудников ЛФТИ и два консультанта из Радиевого института. Тем самым ЛФТИ в начале 30-х годов явился основным центром развития ядерной физики в нашей стране, а работавший на его базе ядерный семинар превратился в первую советскую ядерную конференцию, которая состоялась 24-30 сентября 1933 года. Кроме советских ученых на ней присутствовали и зарубежные гости. Конференция открылась докладом Жолио-Кюри о нейтроне. В ее работе участвовали также такие ученые, как Дирак, Перрен, Бек, Вайскопф и многие другие. На ней окончательно "утвердили" протонно-нейтронную модель ядра. Обсуждались также проблемы элементарности протона и нейтрона, основы оболочечной модели ядра, рассеяние  $\beta$ -лучей и т.д.

Открытия, сделанные в 1932 году, привели к значительным результатам в развитии ядерной физики, а открытие реакции деления тяжелого ядра в 1939 году положило начало новой эре в истории науки и техники, которая теперь именуется эпохой атомной энергетики. Первый атомный реактор в условиях жесточайшей секретности был создан в США в 1942 году под руководством Э.Ферми усилиями многих выдающихся ученых и специалистов, эмигрировавших в США. Первый в Европе исследовательский реактор был создан и построен советскими учеными без всякой помощи извне под руководством И.В.Курчатова в 1946 году.

Таким образом, человечеству представилась широкая возможность использования внутриядерной энергии, выделяющейся при делении тяжелых ядер урана и плутония. Однако это же открыло возможность и создания атомной бомбы, первое испытание которой было произведено в США в 1945 году. В 1945 первые бомбы были сброшены на японские города Хиросима и Нагасаки. Заботясь о своей безопасности, Советский Союз был вынужден вести работы и в этом направлении. И уже в 1949 году была испытана первая в СССР экспериментальная атомная бомба, а в 1953 - первая водородная. Однако, сознавая значимость и необходимость мирного использования атомной энергии, Советский Союз явился инициатором создания первой в мире атомной электростанции, которая была пущена в 1954 году в городе Обнинске. Это событие можно с полным правом считать началом развития мировой атомной энергетики. С тех пор она прошла большой путь. Сегодня во всем мире введено более 260 АЭС общей мощностью порядка 170 млн кВт, расположенных в 24 странах. Следует заметить, что ни одна отрасль техники не развивалась так быстро, как атомная энергетика.

По прогнозам, удельный вес вырабатываемой всеми АЭС электроэнергии к двухтысячному году достигнет порядка 30 и даже 40% от ее общей мировой выработки. И к этому уже сегодня имеются серьезные предпосылки.

Достаточно сказать, что мощность работающих в настоящее время в США атомных электростанций /около 75 АЭС мощностью 57 млн кВт каждая/ составляет 12-13%, работающих в Англии и ФРГ - порядка 15-17%, в Швейцарии - 25%, в Швеции - 32%, в Болгарии - 25%, в Японии - 15% от общей установленной энергетической мощности. Следует заметить, что Япония до самого последнего времени по выработке электроэнергии атомными электростанциями занимала 2-е место в мире, однако в последнее время была вытеснена Францией /40%/.

Таким образом, мировая ядерная энергетика растет, но некоторые проблемы, связанные с атомными электростанциями, еще решены не полностью, что в определенной мере вызывает замедление развития атомной энергетики в ряде стран по сравнению с ранними прогнозами. Однако рост ее все же наблюдается.

Такому росту атомной энергетики способствует ряд обстоятельств: уменьшение природных запасов органического топлива /газа, нефти, а во многих экономических районах и угля/, повышенная сернистость, зольность этих видов топлива, резкое удорожание и сложность их добычи и т.д. Все это факторы объективные, с которыми нельзя не считаться, тем более, что сегодня, т.е. по крайней мере до 2000 года, ядерная энергетика является единственной альтернативой всем остальным новым источникам энергии.

В некоторых странах мира уже ощущается нехватка органического топлива, и она тем ощутимее, чем выше промышленный потенциал страны. Потребление топлива за последнее десятилетие возросло в несколько раз по сравнению с прошлыми периодами и имеет тенденцию вырасти еще больше. Так, если с 1900 по 1970 год человечество израсходовало около 250 млрд.т. условного топлива, то за

30 лет, с 1970 по 2000 годы, расход всех видов топлива, по некоторым прогнозам, должен возрасти до 450 млрд.т.

В ряде европейских стран природные запасы топлива уже находятся на грани их исчерпания.

В Советском Союзе по сравнению со многими другими странами положение значительно лучше. Наша страна богата природными запасами топлива и еще далеко не исчерпанными гидроэнергоресурсами. Однако наше будущее развитие энергетики тесно связано с развитием ядерной энергетики, особенно в европейской части СССР.

Рост потребления энергии приводит к тому, что все большее число развитых стран начинает зависеть от импорта энергоресурсов. Но полагать, что все природные ресурсы в мире находятся на грани истощения, преждевременно. Известно, что всегда появлялись новые методы и способы добычи и использования полезных ископаемых. Рост народонаселения, рост промышленного производства, рост потребления различных видов топлива заставляют искать эффективные методы получения энергии за счет эксплуатации ее источников, ныне слабо используемых.

Но главное, что является непреложным законом природы, - это исчерпаемость запасов всех видов ископаемого топлива. И, что еще важнее, в силу вступает закон невозобновимости нефти и угля. Ведь уголь концентрирует в себе солнечную энергию, накопленную растениями за 500 млн. лет. Однако мы расходует этот природный дар настолько быстро, что огромные запасы в недрах земли быстро оскудевают, истощаются. Казалось бы, наступает безвыходное положение. Но, как это всегда бывало в жизни человечества, выход всегда находится. И он действительно найден. Новый могучий источник, заложенный в ядрах тяжелых атомов урана, плутония, позволяет избежать надвигающейся топливной недостаточности.

Впервые за все время своего существования человек сумел найти новый источник энергии, который по своим энергетическим возможностям превосходит все найденные и используемые ранее.

Пуск первой АЭС произвел в мире исключительно сильное впечатление. И, как всегда бывает при появлении нового явления в жизни человечества, причем такого исключительного по своим последствиям, как овладение ядерной энергией, многих охватил энтузиазм и ничем не сдерживаемый оптимизм. Многим уже казалось, что теперь новый источник энергии решит все проблемы, что он принесет с собой все, о чем только мечтало человечество. Но у всякой медали есть две стороны: кроме действительно великолепных и исключительных по своим энергетическим возможностям качеств, по удобству эксплуатации /без необходимости транспортирования огромных масс угля/ и т.д., ядерная энергетика имеет и свои негативные особенности.

Известно, что ядерная энергия - потенциально наиболее опасный вид получения электрической энергии. Опасный с точки зрения возможного радиоактивного загрязнения окружающей среды в случае аварии реактора, расплавления его активной зоны, его тепловыделяющих элементов, начиненных ураном или плутонием.

Радиоактивное выпадание в случае аварий ядерных реакторов принесет, конечно, неисчислимые потери. Поэтому борьба и поиски средств против возможных последствий таких аварий приобретают исключительное значение.

Вот почему создатели ядерных электростанций, ядерных реакторов делают все, буквально все необходимое для предотвращения аварий и тем более губительных последствий таких аварий. Ни один объект, ни одна техническая установка в мире не строились и не строятся с такой степенью надежности и безопасности, как ядерные реакторы, ядерные электростанции.

Как известно, одно из преимуществ ядерной энергии - это ее концентрация в очень малом объеме. Так, например, для выработки 1 млн.кВт электроэнергии в год требуется примерно 48000 железнодорожных вагонов угля и только 2 железнодорожных вагона для перевозки свежего уранового топлива.

В начале 1982 года в 24 государствах мира находилось в эксплуатации более 260 ядерных энергетических установок, на которых вырабатывалось около 8% мировой электроэнергии.

В развитии ядерной энергетики очень большие успехи были достигнуты в Советском Союзе к XXVI съезду КПСС /февраль 1981 года/.

В этот период ядерная энергетика СССР использует реакторы на медленных нейтронах, а именно, уран-графитовые канального типа, кипящие /РБМК/ и реакторы водо-водяного типа под давлением/ВВЭР/.

Развитие ядерной энергетики идет также по линии создания реакторов на быстрых нейтронах, как генерального направления большой ядерной энергетики СССР.

После пуска первой в мире электростанции на Урале был сдан в эксплуатацию в 1964 году первый блок АЭС с уран-графитовым реактором канального типа электрической мощностью 100 МВт, а в 1967 году был пущен второй блок на 200 МВт.

Под Ленинградом в 1973 году был осуществлен пуск первого блока атомной электростанции с уран-графитовым канальным реактором типа "кипящий" на электрическую мощность 1000 МВт. В конце 1975 года вошел в строй второй блок также на мощность 1000 МВт, в 1979 году - третий блок и в 1981 году - четвертый блок. Общая электрическая мощность Ленинградской АЭС составила 4000 МВт. Таким образом, эта атомная электростанция стала одной из крупнейших в мире.

На Украине, недалеко от Киева, построена Чернобыльская АЭС /пуск первого блока состоялся в 1977 году, второго - в 1978 и третьего - в 1981 году/ с реакторами типа действующих на Ленинградской АЭС /РБМК/. Таким образом, на сегодня общая мощность Чернобыльской АЭС равна 3000 МВт. Строительство следующих блоков этой АЭС продолжается.

В РСФСР введена в строй Курская АЭС. Первый блок этой атомной электростанции с реактором типа РБМК дал энергию в 1977 году, а второй - в 1979 году. Строительство следующих блоков ведется ускоренными темпами.

Идет строительство Смоленской АЭС с РБМК. Пуск первого блока должен состояться в 1982 году.

В Литовской ССР строится крупнейшая в СССР Игналинская АЭС с несколькими реакторами уран-графитового канального типа электрической мощностью 1500 МВт каждый. Пуск 1-го блока намечен в середине XI пятилетки. На далеком севере, в Билибинск-Чаунском горнопромышленном районе, в 1974 году вошла в строй атомная электротеплоцентраль с реакторами уран-графитового типа. Эта АТЭЦ обеспечивает электроэнергией и теплом прилегающий район.

Недалеко от Воронежа построена крупная АЭС с несколькими реакторами водо-водяного типа под давлением. В 1964 году на Ново-Воронежской АЭС был пущен первый блок ВВЭР электрической мощностью 210 МВт, в 1969 году - второй блок мощностью 365 МВт, в 1971 году - третий блок /440 МВт/, в 1972 году - четвертый /440 МВт/, а в 1980 году был сдан в эксплуатацию пятый блок ВВЭР /1000 МВт/. Общая мощность Ново-Воронежской АЭС равна 2455 МВт.

В Армении построена в 1976 году и работает атомная электростанция с двумя блоками ВВЭР на общую мощность 810 МВт.

На Кольском полуострове, на северной окраине европейской части СССР, в 1973-74 годах сооружена АЭС с тремя блоками ВВЭР общей электрической мощностью 1320 МВт. Строительство этой АЭС продолжается.

На Украине, в районе г.Ровно, в 1980 году пущен первый блок ВВЭР, а в 1981 году - второй блок, каждый электрической мощностью 440 МВт. Строительство следующих блоков, но мощностью уже по 1000 МВт /электрических/ продолжается.

В Ульяновской области, в г.Димитровграде, в 1965 году была построена опытная АЭС с водо-водяным реактором на медленных нейтронах типа "кипящий" на электрическую мощность 70 МВт. Однако несмотря на надежную и экономически хорошую работу, этот тип реактора по ряду причин не получил распространения в энергетической промышленности СССР.

В 1969 году в НИИАР /г.Димитровград/ была пущена первая в СССР АЭС электрической мощностью 12 МВт с реактором на быстрых нейтронах /БОР-60/.

В 1976 году в Закаспии, г.Шевченко, дала электроэнергию крупная АЭС /на 1000 МВт тепловых/ с реактором на быстрых нейтронах /БН-350/. Эта АЭС двухцелевого назначения: для производства электроэнергии /150 МВт/ и для опреснения соленой воды Каспийского моря /120000 тонн в сутки/.

В 1980 году на Урале в качестве третьего блока Белоярской АЭС им.И.В.Курчатова была сдана в эксплуатацию АЭС с реактором на быстрых нейтронах электрической мощностью 600 МВт. Эта АЭС является в настоящее время крупнейшей в мире атомной электростанцией подобного типа.

В создании и эксплуатации АЭС с реакторами на быстрых нейтронах Советскому Союзу принадлежит ведущая роль. СССР - единственная страна в мире, где имеется три действующих АЭС подобного

типа. Ведется подготовка к сооружению атомных электростанций с реакторами на быстрых нейтронах на 800 и 1600 МВт. Большие работы в этом направлении ведутся и в Англии, где была пущена в 1974 году такая АЭС на 250 МВт, и особенно во Франции. Во Франции в конце 1973 года была сдана в эксплуатацию АЭС с реактором на быстрых нейтронах "Феникс" электрической мощностью 250 МВт, там же, в Крей-Мельвиле, ведется строительство новой крупнейшей АЭС с реактором на быстрых нейтронах "Супер-Феникс" электрической мощностью 1200 МВт /пуск ее должен состояться в 1984 году/. Работа над АЭС с реакторами на быстрых нейтронах ведется также в ФРГ, Японии и некоторых других странах.

СССР одним из первых в мире приступил к сооружению двух промышленных атомных станций теплоснабжения /АСТ/ - атомных котельных. Одна из них строится в районе г.Горького и вторая - в районе г.Воронежа.

Пуск этих АСТ намечен на 1983-84 годы.

Тепловая мощность и энерговыделения таких АСТ - 500 МВт.

В целях обеспечения их полной безопасности давление в первом контуре определено равным 16 атм., во втором - 12 атм и в третьем, сетевом контуре у потребителя тепла, - 16 атм. Пуск АСТ в одиннадцатой пятилетке в Воронеже и Горьком даст возможность получить эксплуатационный опыт, необходимый для дальнейшего строительства и совершенствования атомных станций теплоснабжения.

Наибольшее развитие за рубежом ядерная энергетика, как и следовало ожидать, получила в Европе и Америке. Америка - это в данном случае пока США, Канада и Аргентина. Из 24 стран, построивших атомные электростанции, на Европу приходится 13.

По прогнозам ожидается, что мировая добыча угля возрастет к 2020 году в 2-3 раза. Потребление нефти будет сильно сокращаться. Кроме органических видов топлива существуют альтернативные им источники энергии. К таким альтернативным возобновляемым источникам относятся энергия рек, морских приливов и отливов, солнечного излучения, ветра, морских волн, тепла морей, геотермальная энергия.

Из всех этих перечисленных видов энергии наиболее широко используемой в настоящее время является гидроэнергия. Однако если рассматривать процент ее применения в мировом масштабе, то он весьма незначителен, немногим более 2%. В то же время в некоторых странах удельный вес гидроэнергоресурсов довольно высок: так, в Европе он доходит до 40%.

В СССР запасы гидроэнергии очень высоки, но распределены они весьма неравномерно, из них более 80% сосредоточены в Сибири, на Дальнем Востоке и в Северной Азии.

В европейской части Советского Союза, где наиболее напряженный топливный баланс, удельный вес гидроэнергетических ресурсов среди других видов источников энергии достигает 40% и их экономический потенциал практически исчерпан.

Следует заметить, что по сравнению с ядерной энергетикой гидроэнергетика гораздо более существенно влияет на экологическую обстановку в районе расположения ГЭС. Так, для создания водохранилищ выше ГЭС /учитывая сезонную неравномерность поверхностного стока воды в реках/ требуется затопить огромные территории, занятые зачастую сельскохозяйственными и лесными массивами, населенными пунктами.

К примеру, водохранилище Куйбышевской ГЭС имеет объем 58 млрд.м<sup>3</sup> и поверхность 20000 км<sup>2</sup>, Рыбинское водохранилище - объем 25 млрд.м<sup>3</sup>, поверхность 4600 км<sup>2</sup>. Примером могут служить также гигантские по мощности Братская и Саяно-Шушенская ГЭС в Сибири.

В связи с тем, что гидроэнергетические ресурсы мира очень ограничены, а их использование сопряжено с весьма существенным экологическим воздействием, в мировом топливно-энергетическом балансе гидроэнергетика может играть только вспомогательную роль /5% от ожидаемой потребности в 2020 году/.

Энергия морских приливов и отливов, с учетом их суточной и месячной неравномерности, может, по-видимому, к 2020 году удовлетворить не более 2% мировых потребностей. Над созданием приливных электростанций /ПЭС/ работают в ряде стран: во Франции, Великобритании, Аргентине, СССР. Наиболее продвинуты эти работы во Франции, где в Сан-Мало построена ПЭС мощностью 9 МВт и вторая, в устье реки Ла-Ране, промышленная ПЭС мощностью 240 электрических МВт. В СССР действует первая советская Кислогубская ПЭС на Кольском полуострове.

Из всех альтернативных источников энергии наиболее привлекательной является солнечная энергия, поскольку ее ресурсы практически неисчерпаемы. Однако на современном уровне наших знаний и технологий не видно путей крупномасштабного использования этих огромных потенциальных возможностей. Средняя интенсивность солнечного излучения на поверхности Земли составляет 160 Вт/м<sup>2</sup> /практически даже несколько менее/. Низкая интенсивность солнечной радиации даже при наилучших атмосферных условиях является главным препятствием ее глобального использования. Например, на экваторе интенсивность солнечного излучения в среднем за сутки составляет около 250 Вт/м<sup>2</sup>. В то же время в современных парогенераторах на ТЭС тепловой поток составляет 10<sup>6</sup> Вт/м<sup>2</sup>.

Отсюда главная проблема - это разработка методов "собирания" солнечной энергии. Осуществленный проект солнечной тепловой электростанции мощностью 2 МВт /электрических/, разработанной во Франции, с размещением гелиостатов /зеркальных модулей/ требует площади, равной 17500 м<sup>2</sup>, не считая целого ряда вспомогательных сооружений и зданий, необходимых для этой СЭС.

Если предположить, что половина мировой потребности в электроэнергии будет обеспечиваться за счет солнечной, то для этого, как считают, придется отвести земельные пространства в 10-12 млн. км<sup>2</sup>, а это составляет площадь, ни много ни мало, занятую ныне под все пахотные земли мира /около 13 млн.км<sup>2</sup>/. Но этого мало, сюда

надо добавить еще и участки, которые потребуются занять под различные промышленные предприятия, изготовляющие оборудование и материалы для солнечных ТЭС. Следует заметить, что солнечная энергетика относится к материалоемким видам производства, что весьма существенно осложняет возможность реализации такой, казалось бы, даровой энергии, как солнечная. В то же время следует указать, что в настоящее время проведен большой комплекс работ по использованию солнечной энергии для отопления и охлаждения зданий. Такие исследования осуществляются в Туркменистане, Узбекистане, Казахстане, Закавказье, Крыму, Молдавии, Южной Украине и т.д. Большой объем таких работ выполнен в США, ФРГ, Японии, Австралии и в ряде других стран.

К 2000 году вклад в энергетiku низкотемпературных солнечных энергоустановок будет весьма незначителен, в пределах от 2 до 4%. Их применение в качестве дополнительного источника энергии будет, по-видимому, более существенным в начале или к середине XXI века.

Энергия ветрового ресурса служит человечеству с незапамятных времен, однако из-за малых скоростей и непостоянного характера ветра можно использовать лишь небольшую часть его энергии. Ветроэнергетика не играет заметной роли в современном топливно-энергетическом балансе, ее возможная роль в будущем не выходит за пределы добавочного вспомогательного энергоресурса местного значения.

Огромным по объему и площади коллектором солнечной энергии являются океаны со значительным вертикальным градиентом температуры /средняя разность между поверхностными и глубинными слоями - около 25°C/. В настоящее время проблема преобразования тепла морей и океанов находится пока что на стадии проектных работ.

Особое значение имеет тепло недр Земли - геотермальная энергия. Однако экономически и технически в настоящее время оправдана разработка только отдельных источников геотермальной энергии. Расчеты, проведенные для СССР, показывают, что даже в случае 100%-ного использования ее запасов геотермальная энергетика смогла бы обеспечить только 2% фактического потребления в нашей стране энергии. При этом следует иметь в виду, что в пределах СССР термальные воды распределены весьма неравномерно: 70% - в районах Сибири и Дальнего Востока и только 15% - в европейской части СССР /на Кавказе, в Предкавказье и в Крыму/.

Термальные воды в СССР применяют для горячего водоснабжения в Махачкале, Избербали, Омске, Кизляре, Черкасске, Тбилиси, Тобольске и др. Близ Петропавловска на Камчатке работает геотермальная тепловая электростанция мощностью 2,5 МВт. Кстати, экологическая чистота геотермальных вод весьма сомнительна, т.к. геотермальная активность сопровождается загрязнением атмосферы парами ртути, сероводорода, аммиака, двуокиси и окиси углерода, метана и т.д.

Итак, следует отметить, что проведенные исследования возобновляемых источников энергии показывают, что они не в состоянии решить задачу покрытия более или менее значительной доли топливно-энергетического баланса. Использование геотермальной и особенно солнечной энергии на базе современных знаний и технологий требует весьма значительных экономических затрат, а проблема разработки новых экономических технологий не может быть разрешена до начала XXI века.

Всем нам ясно, что перед человечеством стоят очень большие проблемы освоения новых видов технологий для улучшения и продолжения жизни на земле.

Овладевать наукой, использовать ее достижения - вот главное, что нужно человеку в его мирной деятельности. Здесь уместно напомнить прозорливые слова известного русского ученого академика В.И.Вернадского: "Мы подходим к великому перевороту в жизни человечества, с которым не могут сравниться все им раньше пережитые. Недалеко время, когда человек получит в свои руки атомную энергию, такой источник силы, который даст ему возможность строить свою жизнь, как он захочет. Это может случиться в ближайшие годы, может случиться через столетие. Но ясно, что это должно быть."

Сумеет ли человек воспользоваться этой силой, направить ее на добро, не на самоуничтожение?

Дорос ли он до умения использовать ту силу, которую неизбежно должна ему дать наука?

Ученые не должны закрывать глаза на возможные последствия их научной работы, научного прогресса. Они должны себя чувствовать ответственными за последствия их открытий. Они должны связать свою работу с лучшей организацией всего человечества"... Это было сказано в 1922 году, когда не была еще раскрыта загадка ядра атома, до открытия нейтрона оставалось еще десять трудных лет интенсивной работы ученых многих национальностей, до создания первого исследовательского атомного котла /1942 год/ - 20 лет напряженнейшего труда известных физиков и инженеров многих стран мира.

Как прозорлив был смотрящий вперед советский ученый! Его слова об ответственности исследователей за последствия их открытий и сегодня, в 1982 году, спустя 60 лет, звучат современно и полностью созвучны эпохе наших дней, когда в США усиленно и ускоренно создаются новые и новые поколения смертоносных видов ядерного оружия, нейтронной бомбы...

Результаты научной работы должны быть отданы только на благо мира, только на благо человечества, только на благо совершенствования жизни людей на нашей планете Земля!

Рукопись поступила в издательский отдел  
16 августа 1982 года.

Петросьянц А.М.

P3-82-636

Нейтрон и ядерная энергетика

/лекция на IV Международной школе по нейтронной физике/

В лекции председателя Государственного комитета по использованию атомной энергии СССР академика А.М.Петросьянца рассказывается об истории открытия нейтрона и о развитии некоторых идей ядерной физики. Дается представление о состоянии мировой ядерной энергетике в настоящий момент.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1982

Petrosyants A.M.

P3-82-636

Neutron and Nuclear Power Engineering

/the Lecture at the IVth International School on Neutron Physics/

In the lecture presented by the chairman of the USSR State Atomic Energy Committee academician A.M.Pertosyants the history of the discovery of neutron and the development of some ideas of nuclear physics are dealt with. The up-to-date state of nuclear power engineering all over the world is given attention to.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1982

Перевод О.С.Виноградовой.