

УДК 539.17

Управляемый термоядерный синтез и будущее энергетики

Нигматулин Р.И. ^[0000-0002-2454-6046]

Институт Океанологии им. П.П. Ширшова, Российская Академия наук, Москва, Россия

Аннотация. В статье представлено интервью зам. главного редактора журнала «Окружающая среда и энерговедение» К.С. Дегтярева с академиком Робертом Искандеровичем Нигматулиным, научным руководителем Института Океанологии РАН. Вопрос освоения новых энергоносителей остаётся одним из ключевых для существования и развития человеческой цивилизации. Одна из важнейших задач на этом пути – добиться управлением энергией термоядерного синтеза. В отличие от классической атомной энергетики, при термоядерном синтезе используется энергия не распада, а слияния ядер атомов. Термоядерная реакция протекает с выделением огромного количества энергии: если 1 кг урана может дать почти столько же энергии, сколько 100 тонн каменного угля, то при термоядерной реакции такое же количество энергии обеспечат 10 граммов смеси изотопов водорода – дейтерия и трития, используемой в качестве энергоносителя. Теоретически, это даст человечеству мощнейший и неограниченный источник энергии, исходя из запасов водорода в природе, при этом, сравнительно чистый в экологическом смысле. В природе термоядерный синтез – превращение ядер водорода в ядра гелия, идёт на Солнце, что и обеспечивает нас солнечной энергией. На термоядерном принципе человек создал водородную бомбу, где идёт неуправляемая термоядерная реакция. Возможно ли взять этот процесс под контроль с целью стабильного получения энергии в мирных целях? Об этом и, в целом, о перспективах мировой энергетики мы беседуем с академиком Р.И. Нигматулиным. Параллельно затрагивается широкий спектр энергетических, экологических и даже социальных вопросов

Ключевые слова: термоядерный синтез, атомная энергетика, экология



Рис.1. Фото Р.И. Нигматулина. Источник: официальный сайт Института Океанологии РАН

Роберт Искандерович, решением задачи управляемого термоядерного синтеза занимаются уже более полувека, но пока дело не дошло до практической реализации. С чем это связано?

Реализована водородная бомба, но про неё мы говорить не будем, а контролируемая реакция термоядерного синтеза и правда пока не получается.

Ещё в 1956 году И.В. Курчатов, основываясь на идеях А.Д. Сахарова и И.Е. Тамма, предложил: будем обжимать плазму магнитным полем, пропустим ток по тороидальной камере, ток будет нагревать плазму до сверхвысоких температур¹. Состав плазмы – смесь дейтерия и трития. Дейтерия на Земле много, но тритий легче поджечь.

Это красивая идея, и тогда она казалась реализуемой в течение нескольких лет. Однако, этим занимаются до сих пор, строят всё более крупные и мощные установки. Сейчас строится мощный реактор ITER во Франции, в исследовательском центре Кадараш. Это международный проект, с участием России, на который будет затрачено \$20-30 млрд., и который к 2035-40 году предполагается запустить.

В России Курчатовский институт также строит термоядерный реактор токамак Т-15МД, запуск которого планируется на декабрь 2020 года.

Конечно, успех этих проектов означал бы решение всех энергетических проблем человечества и «наступление энергетического коммунизма». Но...

Проблема этого способа в том, что обжатие плазмы магнитным полем неустойчиво, всегда будут вырываться отдельные струйки, и уплотнения не получается до сих пор. При этом затраты энергии на порядки выше, чем её выделе-

¹ Метод токамак – тороидальной камеры с магнитными катушками; температура плазмы должна составлять 50-100 млн.⁰С

ние в результате термоядерных актов. Над преодолением этих проблем работает множество людей.

И в последнее время академик Е.П. Велихов, являющийся у нас вдохновителем этой идеи, сказал, что эти реакторы будут, скорее всего, не энергетическими, а будет использован как источник нейтронов. Далее этими нейтронами можно облучать торий, чтобы получать из него топливо, используемое в ядерных реакторах, работающих на тепловых нейтронах. То есть, в данном случае термоядерный реактор будет служить целям создания и обогащения ядерного топлива для классической атомной энергетики. Но в ближайшие 50 лет проблема ядерного топлива для атомных реакторов неактуальна, поскольку урановой руды на Земле много, эта руда на мировом рынке подешевела и составляет 5 – 6% в стоимости электроэнергии на АЭС.

Другой способ реализации управляемой термоядерной реакции – с помощью лазерного обжигания. На Западе это установка в Ливерморской национальной лаборатории в США, в России – в Сарове (бывший Арзамас – 16). Но и это очень сложные, дорогостоящие и энергозатратные установки. Например, только один накопитель энергии для лазерного выстрела занимает площадь размером с футбольное поле. При этом КПД лазера 5%-10%, т.е. только такая доля накопленного электричества идёт в лазерную энергию.

На мой взгляд, такие установки – это просто изучение сверхплотного вещества для науки, но не будущие энергетические реакторы.

Наконец, третий способ, который мы с коллегами разрабатывали и подтвердили экспериментально в Оукриджском ядерном центре в США. Идея заключается в том, что термоядерное топливо легче обжимать вязкой инерционной жидкостью, чем оптическим лазерным излучением, это более устойчивая система.

Какая жидкость должна быть?

Нужно взять вещество большой молекулярной массы, потому, что при этом в паре до его диссоциации реализуются меньшие скорости звука², и во столько же раз большие числа Маха. Мы взяли ацетон. В нашем опыте в цилиндрической колбе с дейтерированным ацетоном при сфокусированном акустическом ультразвуковом воздействии создаётся кавитационный сферический кластер диаметром около 1 см из сферических паровых пузырьков. И нам в этих маленьких установках удалось получить нейтронные источники, испускающие примерно полмиллиона термоядерных нейтронов в секунду с энергией 2,5 МэВ. Одновременно с той же производительностью идёт образование ядер трития. Это неоспоримые признаки термоядерного акта.

Результаты были опубликованы в журнале Science, статья *Evidence for Nuclear Emissions During Acoustic Cavitation* [1]. Позже опыты были повторены, и результаты подтвердились. С обзором нашей работы и результатов можно

² Квадрат скорости звука в газе (паре) обратно пропорционален его молекулярной массе.

познакомиться в нашей статье «О термоядерных процессах в кавитирующих пузырьках» [2], опубликованной в «Успехах физических наук» в 2014 году.

Сейчас мы нашли другое вещество, более тяжёлое – тетрадекан. Если у дейтерированной воды молекулярная масса – 20, у дейтерированного ацетона (C_3D_6O) – 64, то у тетрадекана ($C_{14}D_{30}$) с дейтерированным водородом – 228. Сейчас мы проводим расчёты сферического обжатия и предполагаем, что будет более эффективный и устойчивый процесс – более тяжёлый пар, не нужно сам пузырь так сильно обжимать... Тут, конечно, тоже сложная и капризная неустойчивость фокусировки энергии, но, всё-таки, менее капризная и более устойчивая, по сравнению с оптическим обжатием лазерными лучами. При этом тороидальные и лазерные установки обходятся в миллиарды долларов, а мы всё сделали за несколько тысяч, правда, и термоядерная производительность пока очень мала.

Да, наша идея пока не принята большей частью научного сообщества. Более того, мы подвергались не только резкой критике, но и прямым обвинениям в фальсификации результатов, которые, после жёстких дискуссий и разбирательств, не подтвердились, были отвергнуты, и наши результаты публикуются.

Знаете, есть ведь такое, особенно в Америке это заметно – профессионалы, связанные с токамаками и лазерным термоядом, боятся возникновения новых идей.

Несколько неожиданно слышать это про Америку...

Вероятно, потому, что это большие средства, на это отпускаются миллиарды долларов, решает бюджет, конгресс, политики. И тут, представьте, политикам говорят, что есть какая-то новая идея, и надо часть средств выделить на эту новую идею, что может угрожать сокращением финансирования традиционных исследований.

Честно говоря, для меня это стало шоком, хотя я хорошо знаю Америку. Но раньше я думал, что подобное только у нас возможно. Я не говорю, что у нас хорошо, но и там не лучше, а иногда и хуже.

Кстати, почему сейчас в Америке происходят беспорядки под флагом расового равноправия, - Вы не думали? Почему такую великую страну невежественные толпы пытаются поставить народ и его интеллигенцию на колени? Я это связываю с тем, что там 95% населения не получает необходимого школьного образования, овладение которым требуют больших усилий. Да, если вы хотите учиться, вам в США создадут условия. Но такую страсть и способность показывают 1%-2%. Мы все ленивые, если нас не погонять, мы не будем работать как следует. Поэтому моя теорема – народ надо заставлять учиться. Учить синусы, доказывать теоремы, изучать физику, химию и биологию, учить стихи Пушкина, учить прозу Толстого, решать сложные задачи ... Иначе народ вырастает невеждой – тем более, у него сейчас смартфоны, интернет, автомобили, и он чувствует себя умным, но мозги, на самом деле, хилые, неразвитые, и он идёт разрушать своё же государство и культуру.

Возвращаясь к теме термоядерного синтеза...

Пока здесь три значимые идеи: токамак, лазерное обжатие и наша, основанная на ударном воздействии на пузырьковую жидкость. И пока все три далеки от реализации. Но, это уже моё мнение – если Всевышний предусмотрел, что человечество будет использовать термоядерную энергетику, то это будет в пузырьковой жидкости. Это моя точка зрения, её ещё надо отстаивать, но это будет не токамак и не лазер. Энергетические установки для обеспечения человечества энергией не могут быть такими суперсложными.

И долго ждать практической реализации, с Вашей точки зрения?

Я думаю, ситуация прояснится к середине XXI века.

А до этого?

Мы неизбежно будем переходить к безуглеродной энергетике, тем более, есть острые экологические проблемы, выбросы парниковых газов и загрязняющих веществ действительно велики.

Сейчас в качестве способа решения этой проблемы рассматривается, прежде всего, солнечная и ветровая энергетика. Да, она будет развиваться, но энергетических проблем человечества она не решит. Только за счёт солнечной и ветровой энергии мы жить не сможем. Она нестабильна – солнца нет ночью, а в наших широтах его почти нет зимой; ветер тоже дует не всегда. Нужно решать сложнейшую проблему аккумуляции электроэнергии.

И я думаю, что лет через 10 будет ренессанс атомной энергетики, несмотря на то, что США, Германия, Япония от неё сейчас отказываются. Да, после Чернобыля и Фукусимы мы её боимся. Но надо строить более безопасные АЭС. Тем более, нет, и в ближайшие полвека не будет проблемы дефицита уранового сырья, его хватит на многие десятилетия. Хотя в нашей стране урана немного, но его достаточно в Казахстане, Узбекистане, это биржевой товар, и стоит он сейчас дёшево³, а в структуре затрат АЭС доля урана составляет всего 5%-6%. Так что, в ближайшие десятилетия развиваться будет «старая» энергетика, не ториевая, а урановая, на тепловых нейтронах, перспектив развития новой ядерной энергетики пока не просматривается.

³ Стоимость урана на бирже может существенно меняться; в 2020 году он торговался на отметках, близких к \$25 за фунт, или порядка \$60 за 1 кг

А реакторы на быстрых нейтронах, подобные БН-800 на Белоярской АЭС?

Да, это тоже перспектива для энергетики. Но, во-первых, пока это относительно дорого. Во-вторых, при работе реактора на быстрых нейтронах образуется плутоний, а это уже атомная бомба. Это требует строжайшего международного контроля. Законы нераспространения ядерного оружия пока не позволят такую электростанцию продать.

Но в случае с «классической» атомной энергетикой есть экологическая проблема - захоронения отходов...

Да. Проблема захоронения отходов существует. Облучённое, или отработанное, ядерное топливо (ОЯТ) надо где-то складировать. Например, Америка отправляет его в шахты на вечное хранение. Но что значит «вечное»? На сотни и тысячи лет? Тогда неизбежно рано или поздно будет потерян контроль над ним. Но один из выходов в перспективе – использование термоядерных установок, выделяющих нейтроны, для облучения отходов и осуществления трансмутаций, чтобы актиноиды, тысячи и миллионы лет сохраняющие свою активность, превращать в быстро разлагаемые.

А, в целом, подход к экологии не может быть примитивным и должен быть основан на всестороннем анализе. Допустим, солнечная энергетика – экологически чистая? Но ведь, изготовление солнечных батарей – это очень сложное и энергозатратное химическое производство. А потом они отработают, и их надо утилизировать – это тоже экологические и экономические издержки.

Или, другие примеры. В Уфе экологи вывели народ на протесты против строительства пропиленового завода. Завод не построили, но смертность в городе не уменьшилась, а выросла. Почему? Потому, что людям нужен не только чистый воздух, но и работа и заработок. Или Байкал, где печально известный ЦБК уже не работает, но загрязнение от окружающих его электростанций выше и где на окраинах населённых пунктов можно увидеть огромные мусорные свалки, и это тоже в итоге сносится в Байкал.

Больше всего вреда окружающей среде наносят не единичные объекты или аварии, а наша повседневная деятельность. Например, использование интернета в мире – при этом же потребляется огромное количество электроэнергии, даёт больше выбросов CO₂ в атмосферу, чем вся мировая авиация! А из стран мира больше всего на душу населения углерода выбрасывают США – в два-три раза больше, чем в Европе и России.

Возвращаясь к атомной энергетике... Когда я был депутатом Госдумы, я входил в комитет по экологии. И возглавлял общественный Высший экологический совет. И нам приходилось отстаивать закон об облучённом ядерном топливе. Нас обвиняли, что мы хотим ввозить ядерные отходы. Но, например, мы построили АЭС в Иране, а что делать с облучённым ядерным топливом с этой электростанции? Оставлять в Иране? Это очень опасно, исходя из политической ситуации в том регионе. Поэтому мы будем забирать у них отработанное ядер-

ное топливо в виде машинных тепловыделяющих сборок. Имеются технологии его рециклинга, связанного с отделением из отработанного ядерного топлива плутония и урана. А самые долгоживущие актиноиды, составляющие по массе 1% – 2%, можно выделять, остекловывать и возвращать обратно хозяевам АЭС. И всё это за хорошие деньги. А за дополнительную плату можем хранить и у нас. Мы можем это делать – у нас не только огромная территория, но и соответствующие заводы, предприятия, квалифицированные специалисты, которые получают работу и деньги из Ирана.

Ведь экология человека не сводится к чистоте окружающей среды; экология – это и рабочие места; наконец, это культура и знания, отсутствие которых, как мы уже говорили, ведёт к саморазрушению государства и цивилизации.

Если же, резюмируя, говорить о перспективах мировой энергетики, то я вижу такую последовательность:

В первую очередь, мы будем развивать более эффективную урановую ядерную энергетику;

Одновременно, конечно, будет создаваться солнечная и ветровая энергетика; Далее, пойдёт строительство реакторов на быстрых нейтронах;

И только потом возникнет промышленная термоядерная энергетика, но, в силу своей сложности, это будет к концу 21 века, не раньше. И я думаю, что это будет «пузырьковый термояд», а не токамак и не лазерный термояд – я в это верю больше, но это и правда пока вопрос веры.

Беседовал К.С. Дегтярев, зам. главного редактора журнала «Окружающая среда и энергетика», н.с. НИЛ возобновляемых источников энергии географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, к.г.н.

Литература

1. Evidence for Nuclear Emissions During Acoustic Cavitation. R. P. Taleyarkhan, C. D. West, J. S. Cho, R. T. Lahey Jr., R. I. Nigmatulin, R. C. Block. *Science* 08 Mar 2002: Vol. 295, Issue 5561, pp. 1868-1873. DOI: 10.1126/science.1067589
2. О термоядерных процессах в кавитирующих пузырьках. Р.И Нигматулин, Р.Т. Лэхи (мл.), Р.П. Талейархан, К.Д. Вест, Р.С. Блок // *Успехи физических наук* – 2014 – т.184, №4 – С. 947-960. DOI: 10.3367/UFNr.0184.201409b.0947

References

1. Evidence for Nuclear Emissions During Acoustic Cavitation. R. P. Taleyarkhan, C. D. West, J. S. Cho, R. T. Lahey Jr., R. I. Nigmatulin, R. C. Block. *Science* 08 Mar 2002: Vol. 295, Issue 5561, pp. 1868-1873. DOI: 10.1126/science.1067589

2. On thermonuclear processes in cavitation bubbles. R I Nigmatulin, R T Lahey, Jr., R P Taleyarkhan, C D West and R C Block // Uspekhi Fizicheskikh Nauk – 2014 – volume 184, №4 – p. 947-960. DOI: 10.3367/UFNr.0184.201409b.0947

Controlled thermonuclear fusion and future of energy

Nigmatulin R.I.

Shirshov's Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Abstract. The article presents an interview of the deputy editor-in-chief of Journal of Environmental, Earth and Energy Study KS. Degtyarev with Robert I. Nigmatulin, an academician of Russian Academy of Sciences. The question of new energy carriers is a key one for human civilization, and one of the principal goals in this way is to reach control on thermonuclear fusion. Differently from classic nuclear energy, thermonuclear fusion uses not decay, but merging of nucleuses. Thermonuclear fusion produces a huge amount of energy: if 1 kg of uranium can give almost as much energy as 100 tons of carbon, then in thermonuclear fusion the same amount energy is produces by only 10 grams of hydrogen isotopes such as deuterium and tritium that are used as energy sources. Theoretically it will give the people the most powerful and unlimited source of energy, taking into account the amounts of hydrogen in nature, and, besides that it would be environmentally clear. Natural thermonuclear fusion – transforming hydrogen into helium takes place on the Sun that supplies us with solar energy. Also the man used this principle for the H-bomb where uncontrolled thermonuclear fusion occurs. But whether it's possible to take this process under control to produce stable and peaceful energy? Academician R.I. Nigmatulin talks about it and on the prospects of the global power industry in general. Simultaneously he touches a wide range of energy, environmental and even social questions.

Key words: thermonuclear fusion, nuclear power industry, environment