

**ФИЗИКА – НАУКА, ИЗУЧАЮЩАЯ ЗАКОНЫ ПОЛУЧЕНИЯ,
ПРЕОБРАЗОВАНИЯ И КОНСЕРВИРОВАНИЯ ЭНЕРГИИ ЭНЕРГЕТИКА ЭТО
ФИЗИКА ПЛЮС ЭКОНОМИКА**

Кыргызский Национальный университет им. Ж.Баласагына, Бишкек, ул. Фрунзе, 547

На основании открытых в физике законов сохранения энергии и возрастания энтропии еще в прошлом веке предсказывался глобальный энергетический кризис, связанный с истощением традиционных ископаемых источников энергии – угля, нефти, газа. Возникшая энергетическая проблема с каждым годом напоминает о себе все более и более остро. Не случайно в этом году на саммите СНГ, прошедшем 6-7 июня в Санкт-Петербурге, президенты Республики Казахстан и Кыргызской Республики внесли совместное предложение **объявить 2009 год годом энергетики**. В рамках Содружества намечено создать единый электроэнергетический рынок. Для стран СНГ это особенно актуальная задача. На их долю приходится около 18% мировых запасов нефти, 40% природного газа и колоссальные гидроэнергетические богатства. По гидроресурсам Кыргызстан занимает третье место среди стран СНГ после России и Таджикистана. Его полный гидроэнергетический потенциал составляет 16,0 млн. кВт по мощности и 142,5 млрд. кВт·ч в год по энергии. Степень же использования гидроэнергоресурсов в настоящее время остается незначительной и составляет всего 9,2% от полного потенциала. Обнадеживающим и сенсационным экономико-политическим шагом вперед в нашей стране явилось совместное апрельское (2008 г.) заявление власти в лице президента К. Бакиева и оппозиции в лице лидера партии оппозиции «Ар-Намыс» Ф. Кулова о строительстве в КР малых ГЭС. Инвестировать проекты по мини-ГЭС готовы бизнесмены из Германии. Одна из таких станций мощностью 1,6 кВт уже построена и работает в Иссык-Атинском районе.

В решении энергетической проблемы ведущая роль принадлежит физике. Одним из первых на это обратил внимание лауреат Нобелевской премии профессор П.Л. Капица в 1975 г. в докладе, посвященном 250-летию АН СССР [1]. Тогда он дал **определение физики как науки, изучающей фундаментальные процессы получения, преобразования и консервирования энергии**. Тесную связь энергетики с физикой отметил академик М.А. Стырикович: **энергетика это физика плюс экономика** [2]. **«Именно физикам придется придумать, как избавить мир от нужды в энергии. И это бесспорно достижимо»**, - предсказывал Р.Фейнман [3]. В решении этой задачи нам, ученикам, педагогам и ученым-физикам, принадлежит образовательно-просветительская роль. В преподавании физики следует уделять особое внимание, прежде всего, усвоению глубокого смысла общего понятия «энергия», классификации различных ее видов и законов превращений. Это тем более важно, что, по обоснованному утверждению одной из наших коллег [4], устойчивых представлений об энергии в умах большинства людей как не было, так и нет.

В физике и смежных науках встречаются более 40 названий форм и видов энергии - от космической энергии с ее классификацией, предложенной в конце прошлого века астрофизиками, до механической, внутренней и других форм энергии, рассматриваемых в школьных и вузовских курсах физики. Названия видов энергии, изучаемых в физике или упоминаемых в других науках, приведены в алфавитном списке.

Во втором списке предложен вариант систематизации форм и видов энергии. Деление энергии по формам и видам, а также предлагаемая их систематизация носят до некоторой степени условный и даже неоднозначный характер. Так, внутренняя энергия равна сумме кинетической энергии хаотического движения молекул и потенциальной энергии их взаимодействия. Когезионная энергия вместе с энергией связи отнесена в таблице

ВИДЫ ЭНЕРГИИ, ИЗУЧАЕМЫЕ В ФИЗИКЕ

(алфавитный список):

- | | |
|---|------------------------------------|
| 1. Активации | 23. Полная |
| 2. Анизотропии | 24. Пороговая |
| 3. Барионная («обычное» вещество) | 25. Потенциальная |
| 4. Биологическая | 26. Прорастания |
| 5. Вакуума | 27. Релятивистская |
| 6. Внутренняя | 28. Свободная (Гельмгольца) |
| 7. Гиббса (термодинамический потенциал) | 29. Связанная |
| 8. Гравитационная | 30. Связи |
| 9. Звуковая | 31. Сродства к электрону |
| 10. Излучения | 32. Темная |
| 11. Ионизации | 33. Темная материя |
| 12. Кинетическая | 34. Тепловая |
| 13. Когезионная | 35. Упругая |
| 14. Космическая | 36. Ферми |
| 15. Кристаллической решетки | 37. Химическая |
| 16. Магнитная | 38. Фотохимическая критическая |
| 17. Механическая | 39. Химической связи (диссоциации) |
| 18. Морских волн | 40. Электрическая |
| 19. Неустойчивости атмосферы | 41. Электромагнитная |
| 20. Нулевая | 42. Энтальпия (теплосодержание) |
| 21. Поверхностная | 43. Ядерная (атомная) |
| 22. Покоя | |

к механической потенциальной энергии, но с не меньшим основанием их можно отнести к электрической энергии. Энергия активации отнесена одновременно к внутренней и химической энергиям, т. к. ее определения в химии и, например, в физике твердого тела несколько различны.

Предлагаемая систематизация вносится в порядке обсуждения и, конечно, возможно ее усовершенствование.

Отметим не вошедшую пока в учебники **космическую энергию** [5]. Она включает четыре формы энергии-массы, заполняющей Вселенную: темную энергию, темную материю (или темную массу), барионную материю (или обычное вещество), излучение.

Темная энергия, на которую возлагают ответственность за ускорение космического расширения, - неизвестная субстанция, действующая на Вселенную как антигравитационная сила. О ее существовании как формы энергии-массы, постоянно действующей и управляющей судьбой космоса, астрономы пришли к выводу в 1998г. Она составляет более 70% всей энергии Вселенной. В отличие от обычного вещества темная энергия равномерно распределена повсюду. Плотность – главная ее количественная характеристика. Численное значение плотности темной энергии $\rho_v \approx 0,7 \times 10^{-26}$ кг м⁻³. Если взять за меру массу атома водорода, то величина плотности темной энергии соответствует присутствию в каждом кубическом метре пространства примерно трех атомов водорода.

Всемирное антитяготение – новый физический феномен, открытый в астрономических наблюдениях на расстояниях 5-8 млрд. световых лет. Антитяготение проявляет себя как космическое отталкивание, испытываемое далекими галактиками, причем отталкивание сильнее гравитационного притяжения галактик друг к другу. По этой причине общее космологическое расширение происходит с ускорением. Антитяготение создается не галактиками или какими-либо другими телами природы, а темной энергией. На макроскопическом уровне темная энергия описывается как особого рода непрерывная среда, которая заполняет все пространство мира; эта среда обладает положительной плотностью и отрицательным давлением. Физическая природа темной энергии и ее микроскопическая структура неизвестны – это одна из самых острых проблем фундаментальной науки наших дней. В астрономии и физике наших дней оба новых понятия – АНТИТЯГОТЕНИЕ и ТЕМНАЯ ЭНЕРГИЯ постепенно занимают место в одном ряду с самыми фундаментальными понятиями естествознания.

Темная материя (темная масса), на долю которой приходится около 25% полной плотности мира; проявляет себя тем, что, концентрируясь вокруг галактик и их скоплений, удерживает их от рассеяния. Она не взаимодействует с излучениями всех видов, не светит сама и ничего не поглощает. Кроме тяготения она ничем себя не выдает. Предполагается, что темная материя состоит из гипотетических нерелятивистских («холодных») стабильных элементарных частиц, не участвующих в сильном ядерном взаимодействии, но участвующих, как и электроны, в электрослабом взаимодействии. Темные частицы считаются стабильными и сохраняются в ходе космологического расширения. Частицам уже предложены названия, одно из которых нейтралито.

ВИДЫ ЭНЕРГИИ, ИЗУЧАЕМЫЕ В ФИЗИКЕ
(систематический список)

1. Космическая энергия	1. Темная энергия 2. Темная материя 3. Барионная материя (обычное вещество) 4. Излучение
2. Механическая энергия	1. Кинетическая энергия 2. Потенциальная энергия 3. Гравитационная энергия 4. Упругая энергия 5. Звуковая энергия 6. Полная энергия 7. Энергия морских волн 8. Энергия неустойчивости атмосферы 9. Релятивистская энергия 10. Энергия покоя 11. Поверхностная энергия 12. Энергия связи 13. Когезионная энергия
3. Внутренняя (тепловая) энергия	1. Свободная энергия (Гельмгольца) 2. Связанная энергия 3. Энтальпия (теплосодержание) 4. Энергия Гиббса (термодинамич. потенциал) 5. Энергия активации 6. Энергия кристаллической решетки 7. Нулевая энергия 8. Энергия вакуума (или темная энергия)
4. Электромагнитная энергия	1. Электрическая энергия 2. Магнитная энергия 3. Энергия анизотропии 4. Энергия Ферми
5. Химическая энергия	1. Энергия активации 2. Энергия химической связи (диссоциации) 3. Энергия ионизации 4. Энергия сродства к электрону 5. Энергия фотохимическая критическая
6. Биологическая энергия	1. Энергия прорастания
7. Ядерная (атомная) энергия	1. Пороговая энергия

Барионная материя – протоны, нейтроны и электроны, из которых состоят планеты, звезды и другие обычные тела природы – в полную плотность космической энергии вносит около 4%. За этой космической энергией закрепилось название «**барионы**» (хотя электрон и не является тяжелой частицей).

Излучение - четвертая космическая энергия - включает в основном реликтовые фотоны (а также, возможно, гравитоны). В далеком прошлом они находились в равновесии с веществом и были очень горячими. В ходе космологического расширения излучение остыло до наблюдаемой сейчас очень низкой температуры – около 3 К. Фотонов очень много – в современную эпоху их $\sim 500 \text{ см}^{-3}$. Излучение почти идеально равномерно заполняет весь объем Вселенной. На его долю приходится несколько сотых долей процента полной плотности космической энергии.

Практическое использование первых двух видов космической энергии-массы, «размазанных» по Вселенной, совершенно нереально, хотя и появляются в СМИ антинаучные предложения топить котельные ТЭЦ темной энергией. Энергетика как точная наука имеет дело сейчас и будет связана в обозримом будущем только с обычным веществом и излучением. Она делится на две части [1]. Одна из них промышленная энергетика больших мощностей, исчисляемых мега- и гигаваттами, определяет уровень валового продукта в стране и уровень жизни населения. Другая – бытовая энергетика, обеспечивающая освещение и работу многих бытовых приборов и устройств – от микрокалькуляторов до холодильников и пылесосов

Мировой спрос на первичную энергию составляет 447 тыс. ПДж в год (П - пета = 10^{15} , 1 ПДж $\approx 300 \text{ ГВт}\cdot\text{ч}$) [6]. 80% его удовлетворяется за счет энергии ископаемого топлива - угля, нефти и газа. После преобразования энергии первичных источников, в основном, на гигантских паросиловых и парогазовых установках, получается примерно 300 тыс. ПДж так называемой конечной энергии в виде электричества, бензина, реактивного топлива и т. д. Преобразование электроэнергии, энергии бензина и т. п. в полезную энергию в двигателях, котлах и электрических лампах сопровождается потерей еще 154 тыс. ПДж. Итого на двух этапах преобразования энергии теряется около 300 тыс. ПДж, т.е. 2/3 первичной энергии. В конечном итоге вся используемая энергия превращается в тепло.

Очевидно, внимание всех потребителей энергии должно быть сосредоточено, прежде всего, на уменьшении потерь конечной энергии. Улучшение теплоизоляции зданий, совершенствование технологических процессов, внедрение автомобилей с лучшими аэродинамическими характеристиками и пр. могло бы привести к снижению спроса на полезную энергию, существенному сокращению ее потерь и, следовательно, к уменьшению выброса CO_2 в атмосферу.

Большое внимание уделяют энергосбережению в некоторых странах Европы и в Японии. Например, в Германии жилые дома переводят в соответствии с новым стандартом на потребление энергии около $30 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ в год. Только это уменьшает потребность страны в энергии на отопление в 6 раз! В Швейцарии предложен проект "двухкиловаттного общества" с потреблением не более 2 кВт на душу населения (65 ГДж на человека в год). Реализация этой программы во всех странах привела бы к уменьшению потребления энергии и, соответственно, сокращению выбросов CO_2 в атмосферу на 2/3, несмотря на увеличение ВВП в ближайшие 60-80 лет на 65%. Политику энергосбережения нужно сделать всемирной.

Сейчас и в ближайшей перспективе будут совершенствоваться традиционные энергоустановки. Среди них тепловые, гидро - и ветростанции, солнечные батареи и др. Наиболее совершенными тепловыми энергоустройствами являются **парогазовые силовые установки, предложенные академиком С.А. Христиановичем [7].**

Центральным агрегатом установки является газовая турбина с компрессором, имеющая от 14 до 16 ступеней сжатия. Основное энерговыделение происходит в камере сгорания при температуре до ~ 2000 °С.

Турбина работает в экстремальных условиях: лопатки первого ряда раскалены докрасна и нагреты до 1300-1500 °С. Нагрузка на каждую из них составляет около 40т., и на каждой преобразуется 5 МВт мощности. Такие установки весьма дорогостоящи. **Стоимость только одной лопатки сопоставима с ценой "Мерседеса" E - класса.** При их изготовлении и эксплуатации используют опыт авиационно-космической техники. Высокотемпературная газовая турбина соединяется с паросиловой установкой, использующей тепло выходящих из турбины горячих газов. КПД таких комбинированных циклов в 1,2 - 2 раза выше обычных и достигает 60%, а с использованием оксидных топливных элементов - до 80%.

На рынке электроэнергии возрастает доля атомной энергетики. В России этот показатель составляет 16%, а к 2050 г. планируется 30%. После преодоления синдрома известных черномыльских событий наблюдается второе рождение атомной энергетики. Сейчас в мире эксплуатируются 435 энергоблоков АЭС. К 2015 г. ожидается увеличение их числа до 544, а к 2030 г. – до 932 . Трехкратное увеличение производства ядерной энергии позволит сократить ежегодный выброс углерода в атмосферу почти на 2 млрд. тонн [8].

Большие надежды возлагаются на термоядерную энергетику. Нобелевский лауреат академик В. Гинзбург назвал исследования в области управляемого термоядерного синтеза одной из главных задач современной физики. Благодаря термоядерным электростанциям наши потомки не будут знать энергетических проблем. Российский научный центр "Курчатовский институт" первым в мире разработал перспективную термоядерную систему "Токамак". Около 20 лет тому назад начал разрабатываться и в 2001 году был завершен проект международного термоядерного экспериментального реактора ИТЕР. Строительство реактора начато в Кадраше (Франция) [9]. Его созданию предшествовал гигантский объем выполненных исследований на сумму порядка 50 миллиардов долларов за 50 лет, включая научно-технические основы и сам проект. За разработку научно-технических основ создания реактора премию "Глобальная энергия" получили в 2006 г. академик Е.Велихов, его коллега М.Йосикава (Япония) и Р.Аймар (Франция). Доля России в базовых НИР этого проекта около 14%, а в проектных работах - 24%. В реализации проекта участвуют европейские страны, Россия, США, Япония, Китай, Южная Корея, Индия. Топливом для реактора будет служить смесь дейтерия и трития. Это топливо дешевое и экономное: десятков килограммов смеси хватит, чтобы обеспечить энергией всю Россию в течение года. Вырабатывать электричество ИТЕР будет в газопаровых турбинах. Он может использоваться и для получения водорода. Первая промышленная термоядерная электростанция появится, по расчетам, в 2050 году.

Как уже отмечалось, все практически важные энергетические процессы представляют собой превращения одного вида энергии в другой. Проходят эти превращения в соответствии с законами сохранения энергии и возрастания энтропии – основными законами природы. Согласно второму из этих законов, при превращениях неизбежны потери энергии высокого качества (механической, электрической) и ее рассеяние в форме энергии низкого качества (тепловой).

Усилия ученых и инженеров направлены на то, чтобы в энергетических устройствах свести к минимуму число энергопревращений. В идеале разрабатываются устройства, в которых не происходит изменений вида энергии. Например, кинетическая энергия поступательного движения превращается в кинетическую энергию вращения и обратно (рекуперация энергии). В системе машина – маховик запас кинетической энергии остается постоянным. Торможение и разгон машины осуществляются путем «перекачивания» энергии от маховика к машине и обратно. Двигатель необходим только для преодоления сил трения при равномерном движении и для пополнения неизбежных потерь кинетической энергии при ее «перекачиваниях». Эффект от применения таких устройств огромен. Например, на автомобиле это приводит к двукратному снижению мощности двигателя и расхода горючего, десятикратному снижению токсичности выхлопных газов. Еще в 1970-е годы в США пускали электропоезда метро с маховичным рекуператором энергии. Велись опытные работы и в СССР на базе Волжского автозавода. Внедрению рекуператоров препятствует их сложность и необходимость очень высокой точности изготовления [10].

Другим примером устройств, в которых сокращается число энергопревращений, являются топливные элементы. Как уже отмечалось, обычно химическая энергия угля, нефти или газа сначала превращается в тепловую в топках или двигателях. Затем в турбинах тепло превращается в механическую энергию и только после этого в электрогенераторах – в электрическую. В этих процессах теряется 2/3 первичной энергии. В топливном элементе химическая энергия топлива – водорода превращается прямо в электрическую энергию. Элемент представляет собой сосуд с электролитом (например, раствором щелочи), в который помещены две пористые трубки из электропроводящих материалов [11]. Через одну пропускают водород, через другую – кислород или воздух. Эти же трубки, покрытые слоем катализатора, служат электродами, на поверхности которых протекает электрохимическая реакция. К электродам присоединяется внешняя цепь. Мощность топливных элементов может варьировать от милливатт до мегаватт. Используют их обычно в качестве источников тока в автономных энергетических устройствах.

Топливные элементы изобретены еще в 19 веке. Но их широкое практическое применение задерживается из-за значительных технических трудностей изготовления и эксплуатации. В частности, для их работы необходимы платино-палладиевые катализаторы в количестве ~ 1г/кВт. Российским ученым удалось на порядок уменьшить расходы драгметаллов за счет нанотехнологий.

Топливные элементы составляют основу бурно развивающейся водородной энергетики. Как энергоноситель, водород выгодно отличается от бензина и мазута экологической безопасностью и высокой энергетической отдачей. При горении водорода образуется только чистая вода, а теплота его сгорания составляет 143 кДж/г, что в 5 раз выше, чем у углеводородов (29 кДж/г). Не случайно его называют главным топливом XXI века. Во Вселенной водород самый распространенный элемент. Однако в чистом виде в достаточном количестве он на Земле не встречается. Поэтому его надо получать искусственно, а для этого требуются источники энергии. Самым перспективным способом называют электролитическое разложение воды за счет электроэнергии, вырабатываемой на атомных (в будущем – на термоядерных) электростанциях. Появились и альтернативные предложения. Американские ученые для этих целей предлагают использовать фотолиз воды, т. е. облучение воды светом. Этот способ оказывается

достаточно эффективным, если в фотолитических установках использовать достижения нанотехнологий. Речь идет о применении нанотрубок.

Нанотрубки - трубчатые структуры, образующиеся в результате свертывания базисных плоскостей (0001) гексагональной кристаллической решетки графита или других материалов. На основе углеродных нанотрубок в Японии созданы "вечные" аккумуляторы, суперконденсаторы необычайно большой емкости. Эти разработки поставлены на поток: **объемы производства фуллеренов и нанотрубок в Японии достигли сотен тонн** [12]. Нанотрубки из диоксида титана с добавками железа значительно повышают эффективность фотолиза воды. При этом цена получения водорода уменьшается настолько, что ожидается революция в большой энергетике – в деле водородного производства [13]. Для доставки водорода к местам потребления в больших количествах вместе с электроэнергией проектируют сверхпроводящие суперкабели [14].

Приведем пример проникновения нанотехнологий в малую энергетику для уменьшения размеров источников энергии до наноуровня. В ходе миниатюризации транзисторной аппаратуры удалось уменьшить размеры отдельных транзисторов от 12 мм, когда они были изобретены в 1947 г., до крохотных современных устройств, содержащих всего одну-две сотни атомов. Однако миниатюризация источников питания шла в 50 раз медленнее. К настоящему времени удалось изготовить сверхминиатюрные батареи, в которых электролит (хлорид цинка) отделен от электродов (анод - цинк, катод - диоксид марганца MnO_2). В таком состоянии батарея может храниться годами и десятилетиями. Когда нужно включить батарею, на электролит подается напряжение, он для столбиков становится смачивающим (столбики приобретают гидрофильные свойства), проникает к электродам, и батарея начинает работать. Размеры батарей таковы, что их можно встраивать непосредственно в микросхемы [16]. Такие батареи применимы для датчиков, например, сбрасываемых с военных самолетов для оповещения о появлении токсинов или радиации, для имплантируемых медицинских устройств, сотовых телефонов, радиопередатчиков ошейников домашних животных. Ведутся работы по изготовлению через 2-3 года наноаккумуляторов.

Таким образом, достижения в одной научно-технической области глобального масштаба – области нанотехнологий способствуют совершенствованию производственных процессов в другой не менее актуальной области – энергетике

Литература

1. Капица П.Л. Энергия и физика // 250 лет Академии Наук СССР. Документы и материалы юбилейных торжеств. - М.: Наука, 1977, с. 254 - 263.
2. Фортов В.Е. Падающая энергетика против растущей экономики // Поиск, 2005, № 50 (864), 16 декабря, с. 9.
3. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. Вып. 1.- М.- Мир, 1967.
4. Потапова Т. Энергетика живой клетки. // В мире науки.- 2006, №3, с. 40 - 51.
5. Чернин А. Д. Темная энергия и всемирное антитяготение // УФН, т. 178, №3, с. 267-300. Ксанфомалити Л. Темная Вселенная // Наука и жизнь, №5, 2005, с. 58 - 69.
6. Йохем Э. Эффективное решение // В мире науки // 2007, №1, с. 32 - 35
7. Фортов В.Е. Энергичный вызов энергетической науке // В мире науки. 2007, №1, с. 52 - 57.
8. Сосновский С. Атом без страха и упрека // Российская газета, 2008, 27 мая.
9. Смирнов В. Путь к свету. Первая термоядерная станция появится в 2050 году // Поиск, 2005, №50 (864), 16 декабря, с. 12.
10. Гулиа Н. Возрожденная энергия // Наука и жизнь, 1975, №7, с. 9 - 15.
11. Глебова Е. Рынок в водородное будущее // Наука и жизнь, 2004, №2, с. 16 - 19.
12. Соснов А. Мяч несется вскач. Фуллерены - на конвейер // Поиск, 2007, №29-30 (947-948), 20 июля, с. 22.
13. Меркулов А. Водород сбавляет цену // Российская газета, 2008, №134 (46911), 25 июня, с. 12.
14. Грант П., Овербай Т., Стар Ч. Энергосистема для водородной экономики // В мире науки, 2006, №10, с.65-69.
15. Чой Ч. Миниатюризация энергии. Нанобатареи позволят уменьшить источники питания до размеров прочих электронных устройств // В мире науки, 2006, №7, с. 70.