

$$\begin{aligned}\exp A &= E + A + \frac{(\sqrt{a^2 + bc})^2}{2!} E + \frac{1}{\sqrt{a^2 + bc}} \cdot \frac{(\sqrt{a^2 + bc})^3}{3!} A + \frac{(\sqrt{a^2 + bc})^4}{4!} E + \\ &+ \frac{1}{\sqrt{a^2 + bc}} \cdot \frac{(\sqrt{a^2 + bc})^5}{5!} A + \dots = E + A + \frac{\delta^2}{2!} E + \frac{1}{\delta} \cdot \frac{\delta^3}{3!} A + \frac{\delta^4}{4!} E + \frac{1}{\delta} \cdot \frac{\delta^5}{5!} A + \dots = \\ &= \begin{vmatrix} chx = 1 + x^2 / 2! + x^4 / 4! + \dots \\ shx = x + x^3 / 3! + x^5 / 5! + \dots \end{vmatrix} = (ch\delta)E + (\delta^{-1}sh\delta)A.\end{aligned}$$

2. Рассмотрим второй случай, когда $\det A > 0, \delta = \sqrt{\det A} = \sqrt{-a^2 - bc}$

$$\begin{aligned}\det A > 0 &\Rightarrow -\det A < 0, \\ (-a^2 - bc) > 0 &\Rightarrow a^2 + bc < 0.\end{aligned}$$

В этом случае разложение в степенной ряд примет вид:

$$\begin{aligned}\exp A = e^A &= E + A - \frac{(\sqrt{a^2 - bc})^2}{2!} E - \frac{1}{\sqrt{-a^2 - bc}} \cdot \frac{(\sqrt{a^2 - bc})^3}{3!} A + \frac{(\sqrt{a^2 - bc})^4}{4!} E + \\ &+ \frac{1}{\sqrt{-a^2 - bc}} \cdot \frac{(\sqrt{a^2 - bc})^5}{5!} A - \frac{(\sqrt{a^2 - bc})^6}{6!} E - \frac{1}{\sqrt{-a^2 - bc}} \cdot \frac{(\sqrt{a^2 - bc})^7}{7!} A + \dots = \begin{vmatrix} \cos x = 1 - x^2 / 2! + x^4 / 4! - \dots \\ \sin x = x - x^3 / 3! + x^5 / 5! - \dots \end{vmatrix} = \\ &= E + A - \frac{\delta^2}{2!} E - \frac{1}{\delta} \cdot \frac{\delta^3}{3!} A + \frac{\delta^4}{4!} E + \frac{1}{\delta} \cdot \frac{\delta^5}{5!} A - \dots = (\cos \delta)E + (\delta^{-1} \sin \delta)A.\end{aligned}$$

3. Пусть теперь $\det A = 0$. Тогда $-a^2 - cb = 0$ и степенной ряд сводится к сумме $\exp A = E + A$.
Таким образом, объединяя все рассмотренные случаи, получим следующую систему

$$\exp A = \begin{cases} (ch\delta)E + (\delta^{-1}sh\delta)A, \delta = \sqrt{-\det A}, \det A < 0, \\ (\cos \delta)E + (\delta^{-1}sh\delta)A, \delta = \sqrt{\det A}, \det A > 0, \\ E + A, \det A = 0. \end{cases}$$

Заключение. Доказательство данного упражнения в дальнейшем будет применяться для исследования связи между экспоненциальным отображением и однопараметрическими подгруппами групп Ли $SL(2, R)$.

Список цитируемых источников

1. Уорнер Ф. Основы теории гладких многообразий и групп Ли / Ф. Уорнер — М. Мир, 1987. — 302 с.
2. Постников М. М. Лекции по геометрии. Семестр V / М. М. Постников — М.: Наука, 1982 — 447 с.

УДК 372.853+539

А. И. Серый

учреждение образования «Брестский государственный университет имени А.С. Пушкина», Брест, Республика Беларусь

К МЕТОДИКЕ ИЗУЧЕНИЯ ОСНОВ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Введение. После трагедии на Чернобыльской АЭС возросло внимание к таким учебным дисциплинам, как «Физика атомного ядра и элементарных частиц», «Основы энергосбережения», «Радиационная безопасность» и т. д. В связи с вводом эксплуатацию Белорусской АЭС (относящейся к более надежным АЭС следующего поколения) становится актуальным вопрос о дальнейшем повышении качества преподавания перечисленных выше дисциплин, в которых может присутствовать, в частности, тема «Основы ядерной энергетики». С этой темой связан предмет исследования данной публикации.

Один из путей достижения указанной выше цели может быть связан с повышением компактности изложения материала и четкости логической структуры. Этому может способствовать внедрение блок-схем и сравнительных таблиц, которые призваны дополнять (но не заменять) существующие учебные пособия по указанной тематике.

Основная часть. В первую очередь можно отметить, что ядерные реакторы, созданные человеком, можно противопоставить природному реактору, обнаруженному на западе Африки. Соответствующая сравнительная характеристика приводится в таблице 1.

Т а б л и ц а 1 — Разновидности ядерных реакторов с точки зрения их происхождения

Разновидность	Природный	Созданные человеком
Годы	Предсказан в 1956 г. П. Куродой [1, р. 781—782, 1295—1296], обнаружен в 1972 г. Ф. Перреном	Первый реактор — 1942 г. (Э. Ферми), первая АЭС — 1954 г. [2, с. 262]
Расположение	Габон (Западная Африка), урановое месторождение в Окло [3, с. 175]	Во многих странах мира
Количество	1 (цепные реакции давно прекратились)	Несколько сотен (сроки эксплуатации в нормальных условиях — десятки лет)
Примечание	Обнаружен по аномальной доле U-235 в природном уране	Условно делятся на 4 поколения (см. таблицу 4) по предложению Министерства энергетики США

Список существующих на сегодняшний день ядерных реакторов (в том числе уже выведенных из эксплуатации) довольно велик. Основные классификационные признаки ядерных реакторов, а также разновидности реакторов в соответствии с этими признаками, представлены в таблице 2. Соответствующие сведения можно найти, в частности, в [2, с. 261—263; 3, с. 235—237; 4, с. 75—84; 5, с. 21—22; 6, с. 31; 7, р. 275—276; 8, с. 297—299; 9, с. 687—683] и в других источниках.

Более подробная сравнительная характеристика периодических и непериодических реакторов приводится в таблице 3, для составления которой использованы сведения из [4, с. 81].

Т а б л и ц а 2 — Основные классификационные признаки ядерных реакторов

Признак	Разновидности реакторов соответствия с признаком	К какому множеству реакторов относится
Тип нейтронов (по энергии)	Тепловые, быстрые, реакторы на промежуточных нейтронах и со смешанным спектром	Ко всем
Вещество теплоносителя и замедлителя	Водо-водяные, кипящие, тяжеловодные, газоохлаждаемые, графито-водные	К реакторам на тепловых нейтронах
Вещество теплоносителя	Водные, натриевые, свинцовые и др.	Ко всем
По назначению	Энергетические, экспериментальные, промышленные (оружейные, изотопные)	Ко всем
По расположению	Статические и транспортные, в том числе плавучие	К энергетическим
По размещению топлива	Гомогенные и гетерогенные	Ко всем
По изотопному составу	Урановые, плутониевые, ториевые	Ко всем
По степени обогащения урана	На природном уране, на слабо обогащенном и высокообогащенном уране	К урановым
По химическому составу	На металлическом уране, на диоксиде и карбиде урана	К урановым
По конструкции	Корпусные и каналные	К гетерогенным
По способу генерации пара	Кипящие и с внешним парогенератором	К реакторам с водой в качестве теплоносителя
По способу конденсации воды	С градирнями или с использованием водохранилища	К реакторам с водой в качестве охладителя отработанного пара или другого теплоносителя
По количеству контуров	Одноконтурные, двухконтурные, трехконтурные	Ко всем реакторам с контурами
По периодичности импульсов	Периодические и аperiodические [4, с. 81]	К импульсным

Т а б л и ц а 3 — Разновидности импульсных реакторов

Показатель	Периодические	Апериодические
Иное название	Мигающие	Самогасящиеся
Характер нейтронных вспышек	Через строго заданные интервалы времени	Редкие и мощные
Основные области применения	Ядерная физика, молекулярная биология, физика твердого тела	Ядерная физика, радиационная химия, радиационная биология, исследования по воздействию излучения на материалы и электронные приборы

Каждый отдельный реактор можно охарактеризовать в соответствии с перечисленными выше признаками. Это можно предложить учащимся в качестве упражнений подобно филологическим упражнениям на морфологический, фонетический и др. разбор слова. При этом вполне естественно ожидать, что не для всех сочетаний классификационных признаков можно подобрать одинаковое количество примеров разновидностей реакторов (если вообще возможно подобрать какие-либо примеры).

Это говорит о том, что между классификационными признаками существует определенная корреляция. В связи с этим все реакторы, созданные и проектируемые человеком, можно условно разделить на четыре поколения. Сравнительная характеристика этих поколений представлена в таблице 4.

Следует также отметить различия между понятиями «Атомная электростанция» (АЭС), «Энергоблок», «Ядерный реактор». Для усвоения этих различий можно предложить учащимся блок-схему на рисунке 1.

Т а б л и ц а 4 — Поколения ядерных реакторов, созданных человеком

Поколение	1	2	3	4
Годы введения в эксплуатацию	1950-е — 1960-е	1970-е	1990-е	2030-е (предположительно)
Работают ли в настоящее время	В основном, уже нет	Да	Да	Еще нет
Замкнутость топливного цикла	Нет (т. е. существует проблема утилизации радиоактивных отходов)	Нет (т. е. существует проблема утилизации радиоактивных отходов)	Нет (т. е. существует проблема утилизации радиоактивных отходов)	В некоторых случаях — да (декларируется)
Теплоноситель (в основном)	Вода	Вода	Вода (в том числе с борной кислотой)	Жидкий натрий или свинец, а также другие варианты
Преобладающий тип нейтронов (по энергии)	Тепловые	Тепловые	Тепловые	Быстрые
Примеры	Реактор Обнинской АЭС	Реакторы Чернобыльской АЭС (РБМК-1000) и других АЭС Украины	ВВЭР-1200 (Белорусская и Нововоронежская АЭС)	БРЭСТ (быстрый реактор со свинцовым теплоносителем)

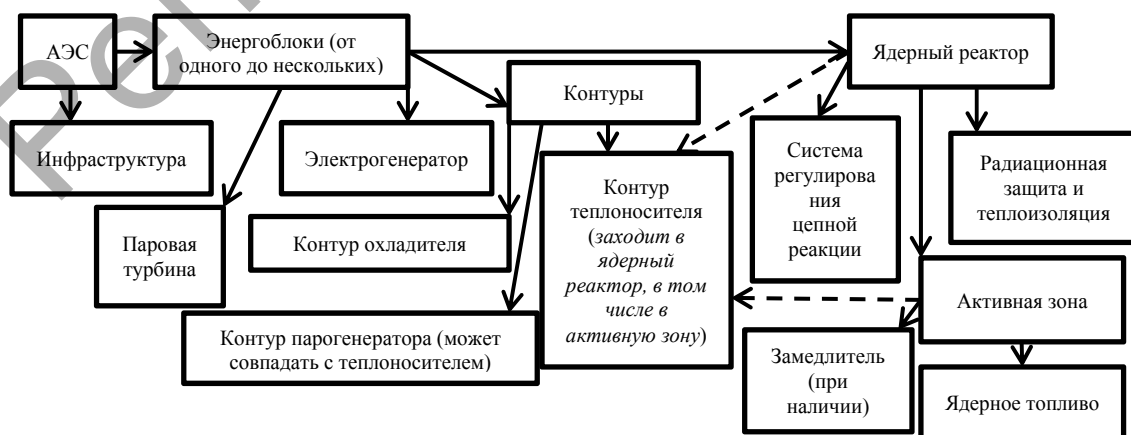


Рисунок 1 — Структурная схема АЭС

АЭС, как статические, так и плавучие, не являются единственным типом атомных станций, использующих энергию цепной реакции деления ядер урана для преобразования в другие виды энергии. Другой разновидностью атомных станций являются атомные теплоэлектроцентрали (АТЭЦ) и плавучие атомные теплоэлектростанции (ПАТЭС). Сравнительная характеристика АЭС, АТЭЦ и ПАТЭС представлена в таблице 5.

Т а б л и ц а 5 — Сравнительная характеристика АЭС, АТЭЦ и ПАТЭС

Показатель	АЭС	АТЭЦ, ПАТЭС
Какая энергия вырабатывается	Электрическая и тепловая	Электрическая и тепловая
Какая энергия при этом доминирует	Электрическая (тепловая используется для собственных нужд или передается на небольшие расстояния)	Тепловая
Примеры статических установок	Ленинградская АЭС, Белоярская АЭС	Билибинская АТЭЦ (Билибинская АЭС)
Примеры плавучих установок	Sturgis (1968—1975 гг., обслуживание Панамского канала), производство США	ПАТЭС «Академик Ломоносов» (с 2020 г.)

Заключение. Предложенные рисунок и таблицы могут быть использованы в образовательном процессе в качестве дополнения к опорным конспектам при изучении темы «Основы ядерной энергетики» в рамках дисциплин «Основы энергосбережения», «Физика атомного ядра и элементарных частиц», «Радиационная безопасность». В силу того, что обсуждаемая тема относится к бурно развивающимся отраслям науки и промышленности, подходы к структуризации соответствующих сведений (в том числе к подборам вопросов для различных сравнительных характеристик) могут быть самыми разнообразными, в связи с чем открываются широкие возможности для творческой деятельности методического характера со стороны как преподавателей, так и учащихся.

Список цитируемых источников

1. Kuroda, P. K. On the Nuclear Physical Stability of the Uranium Minerals / P. K. Kuroda // J. of Chemical Physics. — 1956. — Vol. 25. — P. 781—782, 1295—1296.
2. Савельев, И. В. Курс общей физики: учеб. пособие : в 3 т. / И. В. Савельев. — М. : Наука, 1987. — Т. 3 : Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц. — 320 с.
3. Титаева, Н. А. Ядерная геохимия : учебник. / Н. А. Титаева. — 2-е изд., испр. и доп. — М. : Изд-во МГУ, 2000. — 336 с.
4. Экспериментальные методы нейтронных исследований : учеб. пособие для вузов / Е. А. Крамер-Агеев [и др.] — М. : Энергоатомиздат, 1990. — 272 с.
5. Деметьев, Б. А. Ядерные энергетические реакторы. / Б. А. Деметьев. — М. : Энергоатомиздат, 1990. — 351 с.
6. Основы теории и методы расчёта ядерных энергетических реакторов. / Г. Г. Бартоломей [и др.] ; под ред. Г. А. Батя. — М. : Энергоатомиздат, 1982. — 511 с.
7. Angelo, Joseph A. Nuclear technology. / Joseph A. Angelo. — USA : Greenwood Press, 2004. — 647 p.
8. Физическая энциклопедия / гл. ред. А. М. Прохоров ; редкол.: Д. М. Алексеев [и др.]. — М. : Большая рос. энцикл., 1994. — Т. 4 : Пойнтинга — Робертсона — Стримеры. — 704 с.
9. Физическая энциклопедия / гл. ред. А. М. Прохоров ; редкол.: Д. М. Алексеев [и др.]. — М. : Большая рос. энцикл., 1998. — Т. 5 : Стробоскопические приборы — Яркость. — 691 с.

УДК 372.853+539

А. И. Серый

учреждение образования «Брестский государственный университет имени А.С. Пушкина», Брест, Республика Беларусь

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТАБЛИЦ И СХЕМ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ТЕМЫ «БЕТА-РАСПАД» В КУРСЕ ФИЗИКИ АТОМНОГО ЯДРА И ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

Введение. Раздел «физика атомного ядра и элементарных частиц» является неотъемлемой частью школьного и вузовского курсов физики. При этом в случае вузовского курса изложение ряда вопросов довольно сложно для восприятия как с точки зрения логики рассуждений, так и с точки зрения математических расчетов (особенно при сравнении курсов общей и теоретической физики). Это касается, в частности, темы «бета-распад» [1, с. 190—195, 560—561].