

УДК 531/534+530.1(075)

В. М. Зеличенко, В. В. Ларионов

ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ СРЕДА ШКОЛЫ И ВУЗА: РОЛЬ ФИЗИКИ В СОЦИАЛЬНОЙ СФЕРЕ И ЭКОЛОГИИ

Рассматриваются примеры деятельностного подхода в преподавании курса физики и концепции современного естествознания на основе научных достижений в области производства радиофармпрепаратов для диагностики населения, что позволяет в определенной степени разрешать основные противоречия несоответствия, сознания и ресурсов в педагогической науке.

Ключевые слова: проблемно-ориентированный подход, информационно-коммуникационные технологии обучения физике, интернет-ресурсы в обучении физике.

Введение

При интеграции образования и фундаментальной науки решаются две современные проблемы, связанные с внедрением новейших достижений науки в учебный процесс и созданием современной образовательной среды школы и вуза, в которой информационные и коммуникационные технологии играют интегративную роль. При этом внедрение научных достижений в промышленное производство становится отдельной задачей не только науки, но и образования. В вопросах применения радиоактивных фармакологических препаратов для диагностики населения роль физики имеет дополнительно решающее воспитательное значение. Поэтому соответствующее содержательное обеспечение обучения физике в современном обществе является актуальным.

Общие положения

В настоящее время широкое распространение во всем мире (США, Канада, Западная Европа, Россия) получили ядерно-физические методы лечения и диагностики заболеваний на основе радиоактивных фармакологических препаратов. Так, в США до 40 % пациентов охвачены диагностикой по данному методу [1–3]. Кроме того, используются ядерные реакции для лечения методом нейтронно-захватной терапии (НЗТ), при котором необходимый радиоактивный источник создается непосредственно в нужном месте тела пациента. Это исключает повреждение облучением здоровых тканей человеческого организма. Таким образом, рассматриваемые методы имеют большое социальное значение.

Поэтому в курсе физики и в школе и вузе при изучении ядерных реакций можно заменять реакции «военно-энергетического назначения» сведениями о короткоживущих радионуклидах (КЖР) и их роли в социальной сфере, что имеет не только обучающее, но и воспитательное значение, полезно для экологического образования. В последнем случае речь идет о том, что возможна разработка технологий, не создающих радиоактивное загрязнение и имеющих большое прикладное значение

для ядерной медицины. Например, малоотходные технологии востребованы и эффективны при использовании обогащенного оксида изотопа молибдена-98. Обогащение молибдена-98 производят на тех же заводах, которые ранее производили оружейный уран [4], а в настоящее время часть своих мощностей используют для целей ядерной медицины.

Медицинские препараты на основе таллия и йода получают на ускорителях заряженных частиц, облучая дейтронами мишени теллура и золота.

Методика изложения учебного материала

В настоящее время изотопы и ядерные реакторы находят все более широкое применение в ядерной медицине [1, 3]. Так, в Нидерландах в г. Петтен в 1998 году был запущен в действие ядерный реактор для лечения методом нейтрон-захватной терапии пациентов из 14 стран Европейского сообщества. Информация о строительстве ядерного реактора в центре Европы может найти достойное место в методических пособиях, лекциях и задачах по физике, что особенно важно в эпоху усиления социальной роли физики в обществе. В первую очередь речь идет о деятельностном изучении физики на основе информации о современных российских отечественных промышленных технологиях высокого уровня.

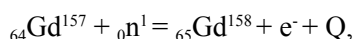
Сущность метода НЗТ состоит в том, что в клетки организма вводится препарат, содержащий бор-10, или гадолиний-157, обладающие большим сечением захвата тепловых нейтронов. В результате ядерной реакции (рис. 1)



образуются высокоэнергетические альфа-частица (${}_2\text{He}^4$) и литий-7. Эти частицы имеют суммарный пробег в ткани 12...13 мкм (сопоставимый с размерами клеток облучаемой ткани). Изотоп бор-10 накапливают в основном в опухоли. Поэтому при такой бомбардировке разрушаются лишь раковые клетки, а не клетки здоровой ткани, так как за счет бора значительному нейтронному воздействию

подвергаются лишь ткани, расположенные в объеме опухоли. Все вторичное излучение локализовано в месте расположения B^{10} . В описанной ядерной реакции кинетическая энергия изотопа лития составляет 0.36 МэВ, α -частицы соответственно 1.47 МэВ. Энергия γ -фотонов равна 0.48 МэВ.

В реакции на ^{157}Gd (рис. 2) возникает жесткое фотонное излучение и электронное излучение (конверсионные и Оже-электроны)



где $Q = 7.94$ МэВ – энергия ядерной реакции, включающая энергию рентгеновского, γ -излучения (7.88 МэВ) и электронов (0.06 МэВ). Пробег составляет 10...30 мкм и практически локализуется в той области ткани, где находятся ядра ^{157}Gd . Ослабление вторичных продуктов ядерных реакций на данной длине пробега достигает 98 %.

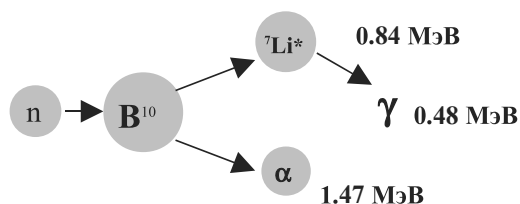


Рис. 1. Схема реакции НЗТ на ядрах бора

Пучок тепловых нейтронов с максимальной плотностью по их количественному составу формируется на ядерном реакторе с помощью специальных устройств. Для фармакологических целей в настоящее время используются исследовательские ядерные реакторы ТПУ и МИФИ.

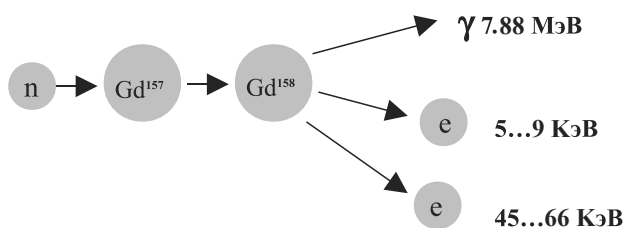


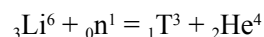
Рис. 2. Схема реакции НЗТ на ядрах гадолиния

Приведенные реакции могут быть обсуждены и по ним проведены соответствующие расчеты на основе законов сохранения энергии и импульса на лекциях и лабораторно-практических занятиях по физике со студентами различных специальностей, включая физические и гуманитарные специальности. Этот учебный материал полезен также студентам медицинских университетов. Кроме энергетических параметров легко рассчитываются коэффициенты поглощения излучения в живых тканях. Для этого используется приближение Бугера

$$I_0/I = \exp(-kl),$$

где k – коэффициент поглощения излучения, l – длина пробега продуктов реакции при НЗТ.

Отметим еще одну особенность информации об использовании изотопов. Эффективность лечения зависит от чистоты используемого препарата на основе бор-10. Нужна соответствующая технология по его производству, так как степень обогащения должна превышать 99.7 %. И далее. Для защиты тела пациента от побочного излучения в виде высокоэнергетических фотонов и быстрых нейтронов, которые присутствуют в небольшом количестве в сформированном для лечения потоке тепловых нейтронов, используется защитный мягкий экран, содержащий изотоп 6_3Li . Дозиметрия фотонов во время облучения осуществляется с помощью детектора из стекла, обогащенного также изотопом Li^6 . Здесь важно подчеркнуть студентам новую роль данного изотопа, который впервые был произведен в СССР и США в целях создания водородной бомбы на основе реакции получения трития из 6_3Li



Именно эта реакция широко обсуждается в традиционных сборниках задач по физике. Стандартное рассмотрение данной реакции можно заменить обсуждением «мирной профессии» изотопа 6_3Li , чем будет сделан хороший вклад в социально-экологическое образование населения страны.

При деятельностном изучении физики целесообразно сообщать информацию о разделении и получении нужных для населения изотопов на бывших военных заводах России. В настоящее время эти заводы [4] производят большое количество необходимых современному высокотехнологическому производству веществ (см. таблицу), многие из которых используются для производства фармацевтических препаратов.

Данным методом на бывших оборонных атомных заводах нашей страны [5] производятся разнообразные вещества, приведенные в таблице. Реальные сведения по многим элементам из приведенной таблицы используются нами для выдачи небольших индивидуальных проектных заданий студентам. Оценочные расчеты, проведенные студентами по определению размеров центрифуги, скорости ее вращения, подлежат сравнению с результатами, которые можно получить из реальных данных сайта завода. Подобная схема индивидуальной работы позволяет не только создать проблемную ситуацию на занятиях, но и разрешить ее деятельностным способом.

В эпоху компьютеризации на кафедрах физики и в школах оборудуются классы и аудитории, в ко-

торых применяются многие мультимедийные средства, в частности LCD-проекторы, Интернет в режиме on-line. Поэтому преподаватель имеет возможность предоставить учащимся и студентам возможность «потрогать» взглядом «живые картинки» с сайта [4], увидеть изотопную продукцию (см. таблицу). В реальном режиме занятия это занимает не более 1 мин и служит элементом дополнительной информационно-психологической разгрузки. Можно заранее подготовить слайд-информацию (гиперссылку) на данный сайт. Прямое включение в урок, лекцию рассмотренных предметно-ориентированных ресурсов Интернета усиливает экологическую, деятельностную и информационную составляющие траекторий обучения. Концепт переноса знаний позволяет дидактически эффективно организовать проектное обучение, в котором соединяются все разделы физики от классической и релятивистской механики до ядерной физики. На выполнение проекта требуется 4 ч аудиторного и 6 ч внеаудиторного времени. В экспериментальных проектах участвуют студенты, обучающиеся по направлению «Физика». Схемы рассмотренных выше ядерных реакций визуализированы с использованием мультимедийных средств, в частности программной среды MACROMEDIA MX, а также применяются для создания контролирующих и обучающих видеотестовых заданий.

Здесь весьма важно акцентировать деятельностное творческое изучение предмета на основе той принципиально иной роли, которую играет физика в современном обществе. Это полезно делать как в вузе, так и на занятиях в обычной и профильной школе. В настоящее время указанные сведения

применяются для формирования радиоэкологических знаний, умений и навыков у учащихся и преподавателей школ и представляют основной элемент образовательной информационной среды по экологизации школьных дисциплин.

Методика получения КЖР и область их применения

Природный молибден имеет 7 изотопов, в том числе Mo^{98} (23.75 %). Поэтому природный молибден обогащают, и в мишенях для облучения используют Mo^{98} с концентрацией до 99.98 %. Методы обогащения различных изотопов в общих чертах описаны в учебнике по физике [5]. На лекциях важно подчеркнуть, что для его производства используются технологии, применяемые для получения оружейного урана, а именно центрифуги. На основе обогащенного молибдена-98 производят радионуклид молибден-99 [1, 2] в результате ядерной реакции $Mo^{98}(n,\gamma)Mo^{99}$. Полученный таким образом молибден-99 распадается по реакции $Mo^{99}(\beta)Tc^{99m}$ с образованием короткоживущего радионуклида технеция – $99m$, имеющего период полураспада 6.02 ч. При внутривенном введении препарата Tc^{99m} в кровь человека происходит его распад до Tc^{99} , имеющего период полувыведения из организма около 6 ч. При этом пациент получает в 100 раз меньшую дозу облучения критических органов, чем при рентгеновском обследовании. Препарат технеций-99m используют для диагностики в онкологии, кардиологии, пульманологии и других областях медицины. Молибден-99m помещается в специальное устройство – генератор, который имеет небольшие размеры для удобства его транспортировки и использования в клиниках медицинских учреждений.

Таблица 1

Перечень выпускаемых изотопов [5]

Химический элемент	Название продукта	Химическая формула продукта	Изотоп	Массовая доля изотопа в природе, %	Массовая доля изотопа в продукте, %
УГЛЕРОД	Углерода диоксид	CO_2	^{13}C	1.11	до 99.43
			^{28}Si	92.2	до 99.94
КРЕМНИЙ	Кремний, кремния диоксид	si, SiO_2	^{29}Si	4.7	до 99.8
			^{30}Si	3.1	до 99.9
ХЛОР	Углерод четыреххлористый	$cCl_4, CHClF_2$	^{35}Cl	75.53	до 99.85
			^{37}Cl	24.47	до 99.6
ТИТАН	Титана диоксид	TiO_2	^{46}Ti	7.93	до 99.5
			^{48}Ti	73.94	98.7
			^{50}Ti	5.34	до 90.0
ЖЕЛЕЗО	Железо, железа (iii) оксид	fe, Fe_2O_3	^{54}Fe	5.8	до 99.9
			^{56}Fe	91.7	до 99.9
			^{57}Fe	2.2	до 95.9
НИКЕЛЬ	Никель	ni	^{58}Ni	67.85	до 99.9
			^{62}Ni	3.66	до 92.8
			^{64}Ni	1.08	до 99.1
МОЛИБДЕН	Молибден, молибдена триоксид	mo, MoO_3	^{92}Mo	14.84	до 99.9
			^{94}Mo	9.25	до 99.0
			^{95}Mo	15.72	до 95.0

Обычно молибден-99 с высокой удельной активностью получают из продуктов деления ядер урана-235; при этом его выход составляет около 6.6 %. Данная технология требует последующей радиохимической очистки, поэтому имеет чрезвычайно много высокотоксичных, радиоактивных отходов и наносит большой ущерб окружающей среде. Кроме того, тщательная очистка для медицинских целей требует дополнительных затрат.

Для студентов необходимо отметить, что основной проблемой в производстве фармакологических препаратов по рассмотренной технологии является чисто физическая задача увеличения активности Mo^{99} за счет увеличения сечения ядерной реакции в каналах ядерного реактора с бериллиевым замедлителем. Это достигается путем повышения в нейтронном спектре реактора резонансной составляющей исследуемой ядерной реакции. Вклад различных изотопов молибдена в величину поглощения нейтронов в области резонансных энергий в среднем не превышает 10 %, в то время как на тепловых нейтронах его величина достигает более 90 %. Сечение реакции радиационного захвата на молибдене-98 может достигать 700 мбарн (при 136 мбарн на тепловых нейтронах), что позволяет получать Mo^{99} с высокой удельной активностью. Для получения генератора, который отправляют в медицинскую клинику, необходимо не менее 80 мг Mo^{98} . Важно обратить внимание студентов, что препарат

должен быть доставлен в клинику в течение 2 суток в связи с малым периодом полураспада молибдена.

В настоящее время на ускорителях заряженных частиц, в частности циклотронах, производят короткоживущий радиоизотоп таллий-199 путем бомбардировки мишени толщиной 100...500 мкм из золота α -частицами с энергией 27 МэВ при токе 40–50 мкА/см² по реакции $\text{Au}^{197}(\alpha, 2n)\text{Tl}^{199}$, а также получают йод-123 [1, 3] при бомбардировке теллура-122 пучком дейтронов с энергией от 8 до 14 МэВ по реакции $\text{Te}^{122}(\text{d}, \text{n})\text{I}^{123}$. Качественный продукт получается, если мишень не содержит изотопы теллура-123, 124, 125, 130. Основное условие применения радионуклидов – возможность получения на ядерном реакторе и циклотроне препаратов с высокой радионуклидной и радиохимической чистотой. Визуализация тех или иных органов при внутривенном введении изотопных препаратов осуществляется с помощью гамма-камеры, основой которой является сцинтилляционный монокристалл NaI. Дальнейшие работы по совершенствованию технологий имеют своей целью снижение себестоимости препаратов, что делает их привлекательными для диагностики широких слоев населения. Представляется весьма целесообразным введение в программу по изучению курса физики отдельного параграфа с 3 мин фрагментом видеолекции по применению ядерных реакторов и ускорителей заряженных частиц для социальных нужд населения.

Список литературы

1. Патент 2118858 RU.МКИ G21G 1/06, 4/08 // В. С. Скуридин. Опубл. 10.09.98. Бюллетень № 25. 6 с.: ил.
2. Ларионов В. В., Скуридин В. С. Использование ядерного реактора и ускорителей заряженных частиц в социальной сфере // Физическое образование в вузах. 2003. Т. 10. № 2. С. 121–124.
3. Хохлов В. Ф. и др. Разработка радиационной технологии лечения злокачественных опухолей на основе нейтронно-захватной терапии (НЗТ) // Инженерная физика. 2000. № 1. С. 52–55.
4. URL: <http://www.ecp.ru/ru/products/isotop.shtml>
5. Кикоин А. К., Кикоин И. К. Общий курс физики. Молекулярная физика. М.: Наука, 1976. С. 190.

Зелichenко В. М., засл. работник высшей школы, кандидат физико-математических наук, профессор.

Томский государственный педагогический университет.
Ул. Киевская, 60, г. Томск, Томская область, Россия, 634061.
E-mail: physics@tspu.edu.ru

Ларионов В. В., доктор педагогических наук, профессор.

Томский государственный педагогический университет.
Ул. Киевская, 60, г. Томск, Томская область, Россия, 634061.
E-mail: larvv@sibmail.com

Материал поступил в редакцию 29.04.2009.

V. M. Zelichenko, V. V. Larionov

**THE ACTIVE-EDUCATIONAL ENVIRONMENT OF SCHOOL AND UNIVERSITY:
ROLE OF PHYSICS IN SOCIAL SPHERE AND ECOLOGY**

The information about this can be useful when reading the lectures on the general physics and for the course «The Concept of modern natural sciences». In the article the nuclear reactions applied in neutron – capture therapies (NCT) for treatment are considered, and also the examples of hi-tech processes for manufacture of radioactive isotopes necessary for these purposes at factories of Russia are resulted. It is offered to use the given information for active studying of physics and solving basic contradiction of discrepancy, consciousness and recourses in pedagogical science.

Key words: *the problem-focused approach, information-communication technologies in training physics, internet resources in training physics.*

Zelichenko V. M.

Tomsk State Pedagogical University.

Ul. Kievskaya, 60, Tomsk, Tomsk oblast, Russia, 634061.

E-mail: physics@tspu.edu.ru

Larionov V. V.

Tomsk State Pedagogical University.

Ul. Kievskaya, 60, Tomsk, Tomsk oblast, Russia, 634061.

E-mail: larvv@sibmail.com