

Г.У.Нурабаева, Б.С.Желдыбаева

Государственный университет им. Шакарима, Семей
(E-mail: balgun@mail.ru)

Методические особенности изучения атомной физики в средней школе

В статье рассмотрены темы «Явление фотоэффекта», «Строение и свойства лазерного излучения», «Эксперименты при изучении атомной физики» и др. Приведены схемы спектроскопа для исследования спектрального состава излучения и рентгеновской трубки для получения рентгеновского излучения. Эти схемы можно показывать с помощью интерактивной доски на уроках физики в школе. Материал может быть использован учителями школ при изучении раздела «Атомная физика».

Ключевые слова: атомная физика, реальные эксперименты, лазерное излучение, явление фотоэффекта, рентгеновские лучи.

Физика дает нам понимание того, что все, что нас окружает, состоит из атомов, позволяет понять процессы и законы, происходящие в природе. Изучение раздела «Атомная физика» учащимися средней общеобразовательной школы является основополагающим для понимания более сложных дисциплин, с которыми в будущем они столкнутся при поступлении в высшие учебные заведения с физической направленностью.

Сложность обучения связана с ограничением показа реальных экспериментов по атомной физике. Причиной этому является то, что большинство экспериментов могут оказывать вредное воздействие на организм человека, а школы не способны полностью принять все меры и средства предосторожности для исключения различных видов инцидентов.

При определении содержания и методов изучения данного раздела необходимо руководствоваться такими основными факторами, как научная значимость отобранного для изучения материала и важность его практических приложений.

В процессе изучения атомной физики рассматриваются такие понятия, как: строение атома, протон, нейтрон, электрон, состав ядра атома, радиоактивность, деление ядер и многие другие, в зависимости от профиля школы. Все эти вопросы имеют очень большое значение, так как на их основе создаётся у учеников расширенное мировоззрение об окружающем нас мире.

Многие учебники физики для базовых школ включают в себя некоторые вопросы для более углубленного изучения. Для этой цели предлагаем темы:

1. Явление фотоэффекта

Явление фотоэффекта явилось толчком к созданию квантовых представлений о свете. Суть фотоэффекта состоит в способности атомов к ионизации под действием света (см. рис. 1).

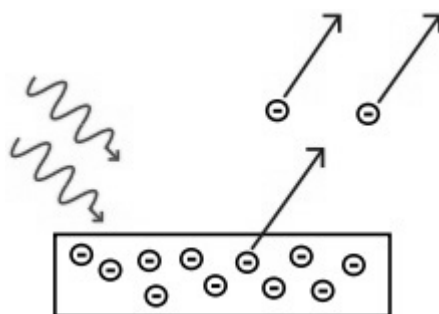


Рисунок 1. Фотоэффект

Практически удобнее фотоэффект наблюдать не в газах (хотя здесь мы имеем дело с «чистым» явлением, с непосредственным отрывом электронов от атомов), а в металлах. В металле валентные электроны коллективизированы и образуют, как мы знаем, своеобразный «электронный газ», заполняющий кристаллическую решетку, составленную из ионов. Но «электронный газ» в металле «заперт»: вблизи поверхности металла на электроны воздействуют силы, не позволяющие им выхо-

дить наружу. Говорят, что вблизи поверхности металла имеет место потенциальный барьер, удерживающий электроны внутри металла. Для вырывания электрона «газа» из металла ему (электрону) необходимо сообщить дополнительную, достаточно большую энергию, необходимую для преодоления потенциального барьера.

В состоянии ли объяснить фотоэффект волновая теория света? На первый взгляд, кажется, что да. Когда световая волна падает на поверхность металла, то электроны вблизи поверхности попадают в переменное электромагнитное поле волны и под действием электромагнитных сил начинают разгоняться, наращивая энергию. Постепенно их энергия оказывается столь большой, что ее достаточно для преодоления потенциального барьера, и электроны вырываются наружу из металла. Однако приведенное объяснение — качественное. Физика такими объяснениями не удовлетворяется. Необходимо привести объяснение в количественное согласие с опытом, т.е. путем расчета подтвердить количественные закономерности физического явления. Количественное же объяснение фотоэффекта, основанное на волновой теории, неудовлетворительное.

Начнем с самого простого. Согласно изложенной точке зрения на «раскачку» электрона в электромагнитной волне до нужного значения энергии требуется определенное время. Это время можно оценить. Что же дает расчет? Он показывает, что на «раскачку» электронов требуется время порядка минуты! Тогда как из опыта известно, что фотоэффект начинается, как только свет упадет на поверхность металла.

Выванные из металла электроны несут какую-то остаточную энергию. Эту энергию нетрудно измерить (используя, например, задерживающее электрическое поле). Согласно приведенному объяснению электроны должны забирать тем больше энергии от волны, чем больше ее амплитуда (и, стало быть, интенсивность!). Электроны — как поплавки на поверхности воды. Чем выше волна, тем больше энергия поплавков. Опыт же показывает, что энергия вырванных из металла электронов совершенно не зависит от интенсивности света. Наше объяснение опять дает «сбой». Энергия вырванных электронов, оказывается, существенно зависит от частоты падающего света! Эта зависимость строго линейная. С точки зрения волновой теории света этот факт тоже непонятен.

Таким образом, классическая электродинамика, обычная волновая теория света не в состоянии дать удовлетворительное объяснение фотоэффекту. Но законы черного излучения подсказывают, что от волновой теории света можно и нужно отступить.

Законы фотоэффекта

1-й закон фотоэффекта: количество электронов, вырываемых светом с поверхности металла за единицу времени на данной частоте, прямо пропорционально световому потоку, освещающему металл.

2-й закон фотоэффекта: максимальная кинетическая энергия вырываемых светом электронов линейно возрастает с частотой света и не зависит от его интенсивности.

3-й закон фотоэффекта: для каждого вещества существует красная граница фотоэффекта, т.е. минимальная частота света (или максимальная длина волны λ_0), при которой ещё возможен фотоэффект, и если частота падающего света меньше этого значения, то фотоэффекта уже не происходит.

Теоретическое объяснение этих законов было дано в 1905 г. Эйнштейном. Согласно ему электромагнитное излучение представляет собой поток отдельных квантов (фотонов) с энергией $h\nu$ каждый, где h — постоянная Планка. При фотоэффекте часть падающего электромагнитного излучения от поверхности металла отражается, а часть проникает внутрь поверхностного слоя металла и там поглощается. Поглотив фотон, электрон получает от него энергию и, совершая работу выхода $A_{\text{вых}}$, покидает металл:

$$h\nu = A + \frac{mv^2}{2},$$

где m — масса вырванного электрона; v — скорость этого электрона.

2. Строение и свойства лазерного излучения

Изобретение лазера стоит в одном ряду с наиболее выдающимися достижениями науки и техники XX в. Первый лазер появился в 1960 г., и сразу же началось бурное развитие лазерной техники. В короткое время были созданы разнообразные типы лазеров и лазерных устройств, предназначенных для решения конкретных научных и технических задач [1]. Лазеры уже успели завоевать прочные позиции во многих отраслях народного хозяйства. И все же, что такое лазер, чем он интересен и полезен?

Качество лазерной энергии определяется ее высокой концентрацией и возможностью передачи на значительное расстояние. Лазерный луч можно сфокусировать в крохотное пятнышко диаметром порядка длины световой волны и получить плотность энергии, превышающую уже на сегодняшний день плотность энергии ядерного взрыва. С помощью лазерного излучения уже удалось достичь самых высоких значений температуры, давления, напряженности магнитного поля. Наконец, лазерный луч является самым емким носителем информации и в этой роли — принципиально новым средством ее передачи и обработки».

Широкое применение лазеров в современной науке и технике объясняется специфическими свойствами лазерного излучения. Лазер — это генератор когерентного света. В отличие от других источников света (например, ламп накаливания или ламп дневного света) лазер дает оптическое излучение, характеризующееся высокой степенью упорядоченности светового поля или, как говорят, высокой степенью когерентности. Такое излучение отличается высокой монохроматичностью и направленностью. В наши дни лазеры успешно трудятся на современном производстве, справляясь с самыми разнообразными задачами. С начала своего возникновения лазерная техника развивается исключительно высокими темпами. Появляются новые типы лазеров и одновременно усовершенствуются старые: создаются лазерные установки с необходимым для различных конкретных целей комплексом характеристик, а также различного рода приборы управления лучом, все более и более совершенствуется измерительная техника [2]. Это послужило причиной глубокого проникновения лазеров во многие отрасли народного хозяйства, в частности в машино- и приборостроение.

Огромны и впечатляющи достижения лазерной техники сегодняшнего дня. Завтрашний день обещает еще более грандиозные свершения. С лазерами связаны многие надежды: от создания объемного кино до решения таких глобальных проблем, как установление сверхдальней наземной и подводной оптической связи, разгадка тайн фотосинтеза, осуществление управляемой термоядерной реакции, появление систем с большим объемом памяти и быстродействующими устройствами ввода-вывода информации.

При изучении темы с методической точки зрения полезно дать учащимся следующие понятия. Принято различать два типа лазеров: усилители и генераторы. На выходе усилителя появляется лазерное излучение, когда на его вход (а сам он уже находится в возбужденном состоянии) поступает незначительный сигнал на частоте перехода. Именно этот сигнал стимулирует возбужденные частицы к отдаче энергии. Происходит лавинообразное усиление. Таким образом, на входе — слабое излучение, на выходе — усиленное.

С генератором дело обстоит иначе. На его вход излучение на частоте перехода уже не подают, а возбуждают и, более того, перевозбуждают активное вещество. Причем если активное вещество находится в перевозбужденном состоянии, то существенно растет вероятность самопроизвольного перехода одной или нескольких частиц с верхнего уровня на нижний. Это приводит к возникновению стимулированного излучения.

Второй подход к классификации лазеров связан с физическим состоянием активного вещества. С этой точки зрения лазеры бывают твердотельными (например, рубиновый, стеклянный или сапфировый), газовыми (например, гелий-неоновый, аргоновый и т.п.), жидкостными. Если в качестве активного вещества используется полупроводниковый переход, то лазер называют полупроводниковым.

Третий подход к классификации связан со способом возбуждения активного вещества. Различают следующие лазеры: с возбуждением за счет оптического излучения, с возбуждением потоком электронов, с возбуждением солнечной энергией, с возбуждением за счет энергий взрывающихся проволочек, с возбуждением химической энергией, с возбуждением с помощью ядерного излучения. Различают также лазеры по характеру излучаемой энергии и ее спектральному составу. Если энергия излучается импульсно, то говорят об импульсных лазерах, если непрерывно, то лазер называют лазером с непрерывным излучением. Есть лазеры и со смешанным режимом работы, например полупроводниковые. Если излучение лазера сосредоточено в узком интервале длин волн, то лазер называют монохроматичным, если в широком интервале, то говорят о широкополосном лазере [3].

Еще один вид классификации основан на использовании понятия выходной мощности. Лазеры, у которых непрерывная (средняя) выходная мощность более 10^6 Вт, называют высокомо мощными. При выходной мощности в диапазоне $10^5 \div 10^3$ Вт имеем лазеры средней мощности. Если же выходная мощность менее 10^3 Вт, то говорят о маломощных лазерах.

Одной из характеристик лазеров является *длина волны* излучаемой энергии. Диапазон волн лазерного излучения простирается от рентгеновского участка до дальнего инфракрасного, т.е. от 10^{-3}

до 10^2 мкм. За областью 100 мкм лежит, образно говоря, «целина». Но она простирается только до миллиметрового участка, который осваивается радистами. Этот неосвоенный участок непрерывно сужается, и есть надежда, что его освоение завершится в ближайшее время. Доля, приходящаяся на различные типы генераторов, неодинакова. Наиболее широкий диапазон у газовых квантовых генераторов.

Другая важная характеристика лазеров — *энергия импульса*. Методически важно подчеркнуть большую величину энергии импульса и сравнить ее с энергией других оптических источников. Она измеряется в джоулях и наибольшей величины достигает у твердотельных генераторов — порядка 10^3 Дж.

Третьей характеристикой является *мощность*. Газовые генераторы, которые излучают непрерывно, имеют мощность от 10^{-3} до 10^2 Вт. Милливаттную мощность имеют генераторы, использующие в качестве активной среды гелий-неоновую смесь. Мощность порядка 100 Вт имеют генераторы на CO_2 . С твердотельными генераторами разговор о мощности имеет особый смысл. Известно, что когда на металл приходится интенсивность луча, достигающая 10^5 Вт/см², то начинается плавление металла, при интенсивности 10^7 Вт/см² — кипение металла, а при 10^9 Вт/см² лазерное излучение начинает сильно ионизировать пары вещества, превращая их в плазму.

Еще одна из важных характеристик лазера — *расходимость* лазерного луча. Наиболее узкий луч имеют газовые лазеры. Он составляет величину в несколько угловых минут.

Важной характеристикой лазера является диапазон длин волн, в котором сосредоточено излучение, т.е. *монохроматичность*. У газовых лазеров монохроматичность очень высокая, здесь также можно сравнить с другими источниками излучения. Она составляет 10^{-10} , т.е. значительно выше, чем у газоразрядных ламп, которые раньше использовались как стандарты частоты. Твердотельные лазеры, и особенно полупроводниковые, имеют в своем излучении значительный диапазон частот, т.е. не отличаются высокой монохроматичностью.

К наиболее важной характеристике лазеров относится *коэффициент полезного действия*. У твердотельных он составляет от 1 до 3,5 %, у газовых — 1÷15 %, у полупроводниковых — 40÷60 %. Вместе с тем принимаются всяческие меры для повышения КПД лазеров, ибо низкий КПД приводит к необходимости охлаждения лазеров до температуры 4÷77 К, а это сразу усложняет конструкцию аппаратуры. Оптические методы измерения расстояний и углов хорошо известны в промышленной метрологии и геодезической службе, однако их применение было ограничено источниками света. Измерения на открытом воздухе с использованием модулированного света были возможны лишь при небольших расстояниях в несколько километров. С помощью лазеров удалось значительно расширить область применения оптических методов, а в ряде случаев и упростить их.

3. Эксперименты при изучении атомной физики

Демонстрационный эксперимент должен являться основной составляющей экспериментального курса физики. Как правило, все основные физические понятия должны демонстрироваться на опыте. Хороший демонстрационный опыт, проведенный во время теоретического изложения и отражающий физическое явление, позволяет преодолеть часто возникающий на начальной стадии обучения формальный подход к физике. Демонстрационные опыты, как известно, формируют накопленные ранее предварительные представления, которые к началу изучения физики далеко не у всех учащихся бывают одинаковыми и безупречными. На протяжении всего курса изучения физики эти опыты накапливают и расширяют кругозор учащихся. Они зарождают правильные начальные представления о новых физических явлениях и процессах, раскрывают закономерности, знакомят с методами исследования, показывают устройство и действия некоторых новых приборов и установок, иллюстрируют практическое применение физических законов. Все это конкретизирует, делает более понятным и убедительным теоретическое изучение материала, возбуждает и поддерживает интерес к физике. Однако поставить реальную демонстрацию по атомной физике довольно-таки сложно. Существуют два выхода из такой ситуации.

1. Для обеспечения наглядности при изучении физики широко применяют «материальные» модели, в которых рассматриваются не сами изучаемые явления, а их аналоги.

Этот метод можно использовать при изучении атомной физики. Примером такой демонстрации может служить аналогия строения атомного ядра и беспорядочного расположения детей (в равных количествах мальчиков и девочек) в центральном круге баскетбольной площадки. Мальчики будут олицетворять протоны, а девочки — нейтроны. Если же попросить детей собраться в кучки — маль-

чики с мальчиками, а девочки с девочками, тогда в суতোлке они начнут толкаться, и строй вытянется в овал, что является аналогией деления ядер.

Ещё одним примером такой модели может быть капельная модель, где строение ядра рассматривается как капля жидкости.

Данные модели являются неплохой альтернативой для демонстрации. Однако главным минусом модельного эксперимента является то, что не ко всему можно сделать аналог, и механические модели искажают свойства микромира.

2. Для того чтобы показать любой эксперимент по атомной физике во всей его полноте, прибегают к компьютерному моделированию.

С точки зрения преподавателя, вполне понятное, лежащее на поверхности достоинство компьютерного моделирования заключается в возможности создавать впечатляющие и запоминающиеся зрительные образы. Такие наглядные образы способствуют пониманию изучаемого явления и запоминанию важных деталей в гораздо большей степени, нежели соответствующие математические уравнения. Моделирование позволяет придать наглядность абстрактным законам и концепциям, привлечь внимание учащихся к тонким деталям изучаемого явления, ускользающим при непосредственном наблюдении. Графическое отображение результатов моделирования на экране компьютера одновременно с анимацией изучаемого явления или процесса позволяет учащимся легко воспринимать большие объемы содержательной информации. Предлагаем некоторые компьютерные модели, с помощью которых можно более наглядно изложить темы «Спектральные серии атома водорода» и «Рентгеновские лучи». Мы лишь предлагаем модели, не претендуя на полноту изложения теоретического материала. Модели можно показать с помощью интерактивной доски.

Спектральные аппараты. Ньютон, направив тонкий пучок солнечного света на стеклянную призму, первым в истории науки наблюдал *спектральное разложение* белого света. За призмой наблюдалось разложение белого света в цветной спектр: семь основных цветов — красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий и фиолетовый — плавно переходили друг в друга (см. рис. 2).

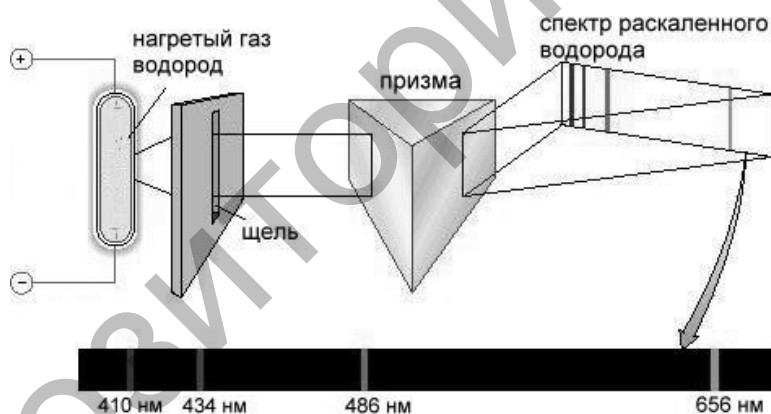


Рисунок 2. Схема спектроскопа для исследования спектрального состава излучения

Ни один из источников не дает монохроматического света, т.е. света строго определенной длины волны. Та энергия, которую несет с собой свет от источника, определенным образом распределена по волнам всех длин, входящим в состав светового пучка.

Для получения и исследования спектров используют спектральные аппараты. Наиболее простые спектральные приборы — призма и дифракционная решетка. Более точные — спектроскоп и спектрограф.

Спектроскопом называется прибор, с помощью которого визуально исследуется спектральный состав света, испускаемого некоторым источником. Если регистрация спектра происходит на фотопластинке, то прибор называется **спектрографом**.

Рентгеновские лучи, открытые в 1895 г. В.Рентгеном, — это электромагнитные колебания весьма малой длины волны, сравнимой с атомными размерами, возникающими при воздействии на вещество быстрыми электронами.

Рентгеновские лучи широко используются в науке и технике. Их волновая природа установлена в 1912 г. немецкими физиками М.Лауэ, В.Фридрихом и П.Книппингом, открывшими явление ди-

фракции рентгеновских лучей на атомной решётке кристаллов. Направив узкий пучок рентгеновских лучей на неподвижный кристалл, они зарегистрировали на помещённой за кристаллом фотопластинке дифракционную картину, которая состояла из большого числа закономерно расположенных пятен. Каждое пятно — след дифракционного луча, рассеянного кристаллом. Рентгенограмма, полученная таким методом, носит название лауэграммы. Это открытие явилось основой рентгеноструктурного анализа.

Длины волн рентгеновских лучей, используемых в практических целях, лежат в пределах от нескольких ангстрем до долей ангстрема, что соответствует энергии электронов, вызывающих рентгеновское излучение от 10^3 до 10^5 эВ.

Устройство рентгеновской трубки. В настоящее время для получения рентгеновских лучей разработаны весьма совершенные устройства, называемые рентгеновскими трубками (см. рис. 3).

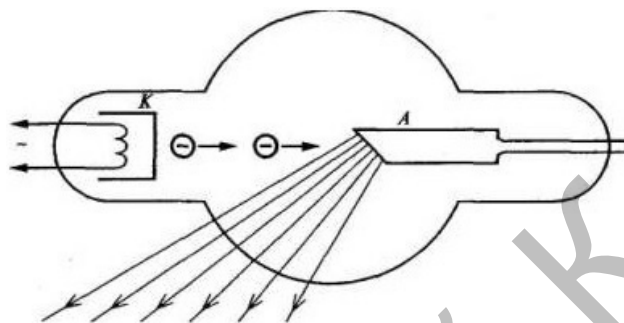


Рисунок 3. Схема рентгеновской трубки для получения рентгеновского излучения

При резком торможении электронов на аноде возникают рентгеновские лучи — электромагнитные волны. В отличие от световых лучей видимого участка спектра и ультрафиолетовых лучей рентгеновские лучи имеют гораздо меньшую длину волны. Их длина волны тем меньше, чем больше энергия электронов, сталкивающихся с препятствием. Большая проникающая способность рентгеновских лучей и прочие их особенности связывались именно с малой длиной волны.

В мощных рентгеновских трубках анод охлаждается проточной водой, так как при торможении электронов выделяется большое количество теплоты. В полезное излучение превращается лишь около 3 % энергии электронов.

Рентгеновские лучи имеют длины волн в диапазоне от 10^{-9} до 10^{-10} м. Они обладают большой проникающей способностью и используются в медицине, а также для исследования структуры кристаллов и сложных органических молекул.

Список литературы

- 1 Применения лазеров / Под ред. д-ра техн. наук В.П.Тычинского. — М.: Мир, 1974.
- 2 Тарасов Л.В. Лазеры и их применение: Учеб. пособие для ПТУ. — М.: Радио и связь, 1983.
- 3 Научные основы школьного курса физики / Под. ред. Я.Шамаша, Э.Е.Эвенчика. — М.: Педагогика, 1985. — 242 с.

Г.У.Нұрабаева, Б.С.Желдібаева

Орта білім беру мектебінде атом физикасын оқытудың әдістемелік ерекшеліктері

Мақалада жалпы орта мектептің атомдық физика негіздерін оқыту әдістеме ерекшеліктері айқындалды. «Фотоэффект құбылысы», «Лазерлік сәулеленудің реті және құрылымы» және «Атомдық физиканы оқытудағы эксперименттер» және тағы басқа тақырыптар қарастырылды. Сәулеленудің спектрлік құрамын зерттеу үшін спектроскоптың және рентген сәулесін алу үшін рентгендік түтігінің схемалары келтірілді. Осы схемаларды мектепте физиканы оқытуда интерактивті тақтаның көмегімен көрсетуге болады. Мақала материалын «Атомдық физика» бөлімін меңгеруде мектеп мұғалімдеріне қолдануға болады.

G.U.Nurabayeva, B.S.Zheldybayeva

Method specific study of atomic physics in secondary school

This article describes the methodological features of the study of atomic physics of secondary school. Addressed the theme of «Photoelectric effect», «Structure and properties of laser radiation» and «Experiments in the study of atomic physics,» etc. The schemes spectroscopy for the study of the spectral composition of the radiation and the X-ray tube to produce X-rays. These schemes can be displayed using the interactive whiteboard in physics lessons at school. This article may be used by school teachers in the study of the «Atomic Physics».

References

- 1 *The use of lasers*. Ed. by Dr. techn. sciences V.P.Tychinski, Moscow: Mir, 1974.
- 2 Tarasov L.V. *Lasers and their application*. Tutorial for PTU, Moscow: Radio i svyaz, 1983.
- 3 *Scientific basis of school physics course*, Ed. Ya.Shamash, E.E.Evenchik, Moscow: Pedagogika, 1985, p. 242.