

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. М.В. ЛОМОНОСОВА
ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ОБЩЕЙ ФИЗИКИ

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА
СТУДЕНТА 605 ГРУППЫ
ПОЛЕВИЧА СЕРГЕЯ СТАНИСЛАВОВИЧА

СИСТЕМА ЛЕКЦИОННЫХ ДЕМОНСТРАЦИЙ ПО ТЕМЕ
«ИЗЛУЧЕНИЕ И ПОГЛОЩЕНИЕ СВЕТА»

Допущен к защите

« » декабря 2007 г.

Заведующий кафедрой

общей физики,

д.ф.-м.н., профессор

Научный руководитель:

старший преподаватель КОФ, к.п.н.

А.М. Салецкий

А.В. Селиверстов

Москва — 2007

Оглавление

Введение.....	3
Глава 1. Демонстрационный эксперимент по теме «Излучение и поглощение света» в курсе общей физики.....	5
1.1. Теоретическое описание явлений излучения и поглощения света.....	5
1.2. Описание существующих демонстраций.....	17
1.3. Принципы создания систем демонстраций.....	24
Глава 2. Разработка методической системы лекционных демонстраций на основе современных технологий.....	27
2.1. Использование методических требований для создания системы демонстраций по излучению и поглощению света.....	27
2.2. Использование современных технологий для демонстраций явлений излучения и поглощения света.....	31
Глава 3. Новые, усовершенствованные и восстановленные демонстрационные эксперименты, разработанные в рамках системы лекционных демонстраций...35	35
3.1. Новые демонстрации.....	35
3.2. Модифицированные демонстрации.....	42
3.3. Цифровые иллюстративные материалы.....	44
Заключение.....	47
Библиография.....	48
Приложение. Реставрированные плакаты.....	52

Введение

Лекционные демонстрации являются незаменимой частью преподавания курса общей физики. Экспериментальное наблюдение явлений очень важно для их исследования. Для изучения процесса очень важным является не только теория процесса, но и сам процесс.

В настоящее время в курсе общей физики, читаемом на физическом факультете Московского государственного университета, материал по излучению и поглощению света рассматривается на четырёх лекциях (не считая лекции по лазерам). При этом показываются семь демонстраций (исключая те, которые были разработаны в рамках работ, предшествующих дипломной). Но в различных источниках [1—4, 10, 12, 13, 15] описано около сорока демонстраций. Такое количество экспериментов приводит к мысли, что их достаточно для полного охвата рассматриваемой темы. Однако в процессе подготовки и чтения лекций выясняется что это не так. К примеру, из семи способов возбуждения люминесценции показывается только один. В результате у студентов может сложиться ложное представление об узкой распространённости явления люминесценции.

Поэтому для повышения эффективности лекций назрела необходимость анализа и систематизации всего комплекса демонстраций по излучению и поглощению света. Следовательно, возникла задача создания методической системы, которая может помочь не только в анализе имеющихся демонстраций, но и при их показе, а также в разработке необходимых, но отсутствующих демонстраций.

Основной целью данной работы являлось создание системы демонстраций по теме «Излучение и поглощение света». Исходя из построенной системы, можно судить о полноте охвата изучаемого материала демонстрационным и экспериментами. Следовательно, если некоторые разделы теоретического

материала не подкреплены демонстрациями, необходимо исследовать причину и по возможности устранить этот недостаток. Поэтому целью настоящей работы является также разработка новых демонстраций с использованием современных технологий.

Созданная система, поможет определить наличие демонстраций по тематике лекций и подобрать эксперименты при её подготовке.

Глава 1. Демонстрационный эксперимент по теме «Излучение и поглощение света» в курсе общей физики

Для разработки системы демонстраций и новых демонстраций по теме «Излучение и поглощение света» рассматривается теория явлений излучения и поглощения, имеющиеся по данной теме демонстрации и методические требования к созданию систем демонстраций.

1.1. Теоретическое описание явлений излучения и поглощения света

Существует несколько способов классификаций источников света. Один способ делит источники света по их происхождению на естественные (такие как Солнце, звезды, атмосферные электрические разряды и др.) и искусственные (свечи, лампы накаливания, люминесцентные лампы, лазеры и др.) [17]. Другой способ [18] классификации основан на разделении источников по способам возбуждения излучения на электрические, ядерные, химические, термо-, трибо- и биолюминесцентные. Третий способ разделяет источники света по характеристикам излучения и поглощения на тепловые, люминесцентные и лазерные [8, 9, 11].

Для исследования характеристик явлений излучения и поглощения был выбран третий способ классификации — по характеристикам излучения. Он позволяет провести чёткое структурирование явлений и закономерностей излучения и поглощения тел, поскольку основывается на физических характеристиках (таких как интенсивность излучения, длина волны излучения, температура тела, время высвечивания и др.). Рассмотрим подробнее характерные особенности источников света, основываясь на выбранном делении.

1.1.1. Тепловое излучение

Тепловое излучение — электромагнитное излучение, испускаемое телом за счёт его тепловой энергии [11].

Для расчёта характеристик теплового излучения обычно используется модель абсолютно чёрного тела, то есть тела, поглощающего всё падающее на него электромагнитное излучение и ничего не отражающего. Таким образом, вся энергия, поглощённая абсолютно чёрным телом, переизлучается. Существуют несколько законов, описывающих тепловое излучение:

- Закон Планка
- Стефана-Больцмана
- Закон смещения Вина
- Закон Кирхгофа и правило Прево

Для сопоставления излучения реальных тел с излучением абсолютно чёрного тела вводится понятие серого тела и степени черноты серого тела.

Для описания характеристик излучения будет часто использоваться термин «спектральная плотность интенсивности». **Спектральная плотность**

интенсивности (излучения): $I(\nu) = \frac{J(\nu, \nu + d\nu)}{d\nu}$ или $I(\lambda) = \frac{J(\lambda, \lambda + d\lambda)}{d\lambda}$.

Рассмотрим закономерности излучения тепловых источников.

Закон Планка

Спектральная плотность интенсивности $I(\nu)$ излучения абсолютно чёрного тела в зависимости от температуры (T) и частоты (ν) определяется **законом**

Планка:
$$I(\nu) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}.$$

При этом $I(\nu)d\nu$ — мощность излучения в единицу площади излучающей

поверхности на единицу телесного угла в диапазоне частот от ν до $\nu+d\nu$.

Другая форма записи зависимости спектральной плотности интенсивности

(от длины волны) представляется в виде
$$I(\lambda) = \frac{8\pi h c}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda k T}} - 1}.$$

При этом $I(\lambda)d\lambda$ — мощность излучения на единицу площади излучающей поверхности на единицу телесного угла в диапазоне длин волн от λ до $\lambda+d\lambda$.

Закон Стефана-Больцмана

Общая мощность теплового излучения определяется **законом Стефана-**

Больцмана: $j(T) = \sigma T^4$, где $j(T)$ — мощность на единицу площади

излучающей поверхности, а $\sigma = \frac{2\pi^5 k^4}{15c^2 h^3} = \frac{\pi^2 k^4}{60 \hbar^3 c^2} \approx 5,670400 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К}^4)$ —

постоянная Стефана-Больцмана.

Таким образом, абсолютно чёрное тело при $T=100 \text{ К}$ излучает $5,67 \text{ Вт}$ с квадратного метра своей поверхности. При температуре 1000 К мощность излучения увеличивается до $56,7 \text{ кВт}$ с квадратного метра.

Закон Стефана-Больцмана является результатом интегрирования закона Планка по частоте (ν) или по длине волны (λ) от 0 до $+\infty$:

$$j(T) = \int_0^{+\infty} I(\nu, T) d\nu = \int_0^{+\infty} u(\lambda, T) d\lambda.$$

Закон смещения Вина

Длина волны (λ), при которой спектральная плотность излучения абсолютно чёрного тела максимальна, т.е. при $\frac{du}{d\lambda} = 0$ определяется **законом**

смещения Вина: $\lambda_{max} = \frac{0,002898}{T}$, где T — температура в Кельвинах, а λ_{max} — длина волны с максимальной интенсивностью в метрах.

Цвет тел определяется всем спектром, а не только максимумом в спектре. Цвет абсолютно чёрного тела при разной температуре представлен на рис. 1.

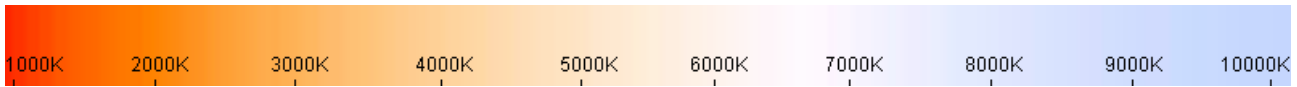


Рис. 1: Цвет абсолютно чёрного тела при разной температуре

Правило Прево и закон Кирхгофа

Правило Прево устанавливает качественную связь между испускательной и поглощательной способностями тела: если два тела поглощают разные количества энергии, то и испускание должно быть различно.

Закон Кирхгофа дополняет правило Прево количественным соотношением. Отношение испускательной способности тела $u(\lambda)$ к его поглощательной способности $\alpha(\lambda)$ не зависит от природы излучающего тела. Оно равно испускательной способности абсолютно чёрного тела $I(\lambda)$ (т.к. его поглощательная способность равна 1) и зависит от длины волны излучения λ и абсолютной температуры T . Таким образом, **закон Кирхгофа:** $\frac{u(\lambda, T)}{\alpha(\lambda, T)} = I(\lambda, T)$.

Функция $I(\lambda, T)$ в явном виде дается законом Планка:

$$I(\lambda, T) = \frac{8\pi hc}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1}.$$

Закон поглощения Бугера-Ламберта

Закон устанавливает зависимость интенсивности $I(l)$ параллельного монохроматического пучка света при распространении его в поглощающем веществе от расстояния, которое он прошёл в этой среде. Если мощность пучка, вошедшего в слой вещества толщиной l , равна I_0 , то, согласно **закону Бугера-**

Ламберта, мощность пучка при выходе из слоя $I(l) = I_0 e^{-k_\lambda l}$, где k_λ — показатель поглощения света. Показатель поглощения — коэффициент, характеризующий свойства вещества и зависящий от длины волны λ поглощаемого света. Зависимость коэффициента поглощения среды от длины волны λ называется **спектром поглощения вещества**.

Закон Бера

Поглощение тонким слоем пропорционально числу окрашенных молекул в нём содержащихся, а следовательно, их концентрации [9]. Коэффициент пропорциональности C . Тогда коэффициент k_λ , использовавшийся в законе Бугера-Ламберта, можно записать в виде $k_\lambda = CK_\lambda$, где K_λ — коэффициент пропорциональности, который называется молярным коэффициентом поглощения.

Если объединить закон Бера и закон Бугера-Ламберта, то получится обобщённый закон Бугера-Ламберта-Бера $I(l) = I_0 e^{-CK_\lambda l}$

1.1.2. Люминесцентное излучение

Люминесценция — излучение, представляющее собой избыток над тепловым излучением тела (см. стр. 5) и продолжающееся в течение времени, значительно превышающего период световых колебаний [7—11, 15]. Этот способ определения люминесценции называется **критерий Вавилова-Видемана**.

Основные физические *характеристики люминесценции*:

- способ возбуждения (для фотолюминесценции — спектр возбуждения);
- спектр излучения (изучение спектров излучения люминесценции составляет часть спектроскопии);
- выход излучения, то есть отношение поглощённой энергии к излученной

(для фотолюминесценции вводится понятие **квантового выхода люминесценции** — отношения числа излученных квантов к числу поглощённых).

- состояние поляризации излучения.

Последняя характеристика не будет рассмотрена, поскольку её изучение не входит в рамки Общего курса физики.

Существуют три способа классификации видов люминесценции. Рассмотрим эти способы, а также основные закономерности люминесцентного излучения.

1.1.2.1 Способы классификации видов люминесценции

Виды люминесценции могут быть классифицированы по различным признакам. Традиционно используют следующие классификационные признаки: по методу возбуждения молекул или атомов, по механизму преобразования энергии в них и по временным характеристикам свечения [9].

В данной работе предлагается порядок рассмотрения явления люминесценции, соответствующий последовательности происходящих в люминофорах процессов, а именно:

1. Возбуждение люминофора
2. Безызлучательные преобразования энергии
3. Излучение света

Рассмотрим подробнее классификации видов люминесценции.

1. Классификация по типу возбуждения

- **Фотолюминесценция** — возбуждение под действием ультрафиолетового или видимого излучения (применяется в люминесцентных лампах, при освещении бумаги или тканей и др.).

- **Радиолюминесценция** — возбуждение проникающей радиацией. Различают несколько видов радиолюминесценции:
 - **рентгенолюминесценция** — возбуждение рентгеновскими лучами;
 - **катодолюминесценция** — возбуждение быстрыми электронами;
 - **ионолюминесценция** — возбуждение ускоренными ионами;
 - **альфа-люминесценция** — возбуждение альфа-частицами и т.п.
- **Электролюминесценция** — возбуждение электрическим полем (явление органической электролюминесценции используется для разработки дисплейных панелей).
- **Триболюминесценция** — возбуждение механическими деформациями, в том числе при трении, разломе, раздавливании некоторых кристаллов.
- **Хемилюминесценция** — возбуждение в результате химических реакций. К хемилюминесценции относят и **биолюминесценцию** — видимое свечение живых организмов.
- **Кандолюминесценция** (другие названия — «температурная люминесценция» и «люминесценция нагретых тел») — возбуждение при рекомбинации радикалов на поверхности тела. При этом источником радикалов является пламя.
- **Сонолюминесценция** (акустолюминесценция) — свечение, вызванное ультразвуком.

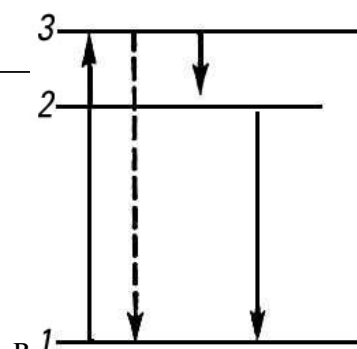


Рис. 2:
Трёхуровневая
схема квантовых
переходов

2. Классификация по механизму внутренних преобразований энергии

- **Спонтанная люминесценция** заключается в безызлучательном переход атома (молекулы) с уровня 3 (см. рис. 2) на уровень 2, а затем с уровня 2 на уровень 1. Этот вид люминесценции характерен

для атомов и молекул в парах и растворах и для примесных атомов в кристаллах.

- **Вынужденная (стимулированная, метастабильная) люминесценция** встречается в случаях, когда атом (молекула), прежде чем перейти на уровень излучения 2 (см. рис. 3), оказывается на промежуточном метастабильном уровне 4 и для перехода на уровень излучения ему необходимо сообщить дополнительную энергию, например энергию теплового движения или инфракрасного света.

- **Резонансная люминесценция** происходит при переходе атома (молекулы) с уровня 3 на уровень 1. Наблюдается чаще всего в атомных парах (Hg, Cd, Na и других), в некоторых простых молекулах, примесных кристаллах.

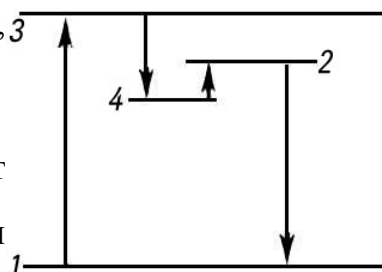


Рис. 3: Четырёх-уровневая схема квантовых переходов

- **Рекомбинационная люминесценция** происходит в случаях, когда заключительным актом передачи энергии является рекомбинация (восстановление частиц, например электронов и ионов или электронов и дырок).

- **Сверхизлучение и суперлюминесценция** наблюдается если первоначально в верхнем состоянии 2 (см. рис. 2) находилось такое число атомов, что возникла инверсия населенностей, то излучение может принять форму кооперативного процесса, в котором излучение одного атома влияет на излучение других атомов. Данный процесс приводит к явлениям сверхизлучения и суперлюминесценции

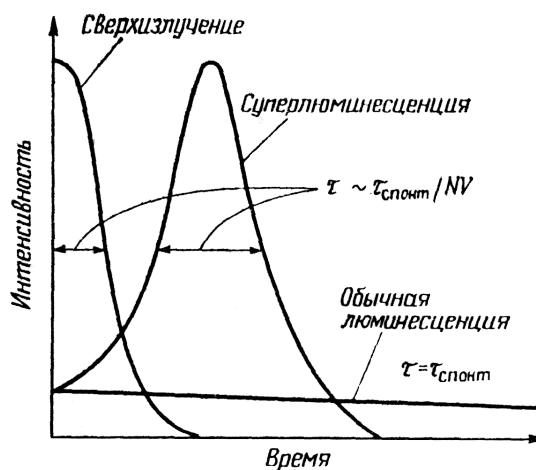


Рис. 4: Люминесценция, суперлюминесценция и сверхизлучение

(см. рис. 4), для которых характерны следующие особенности: 1) существует вполне определённый порог возникновения кооперативного эффекта; 2) длина активной (люминесцирующей) среды должна быть меньше некоторой характеристической длины, значение которой зависит от начального уровня инверсии; 3) интенсивность излучаемого света не изменяется во времени по экспоненциальному закону; вместо этого она имеет вид колоколообразной кривой, характерная длительность которой может быть много меньше времени спонтанного излучения.

3. Классификация по временным характеристикам свечения

1. **Флуоресценция** (время высвечивания 10^{-9} — 10^{-16} с). По механизму преобразования энергии возбуждения (см. рис. 5) флуоресценция, как

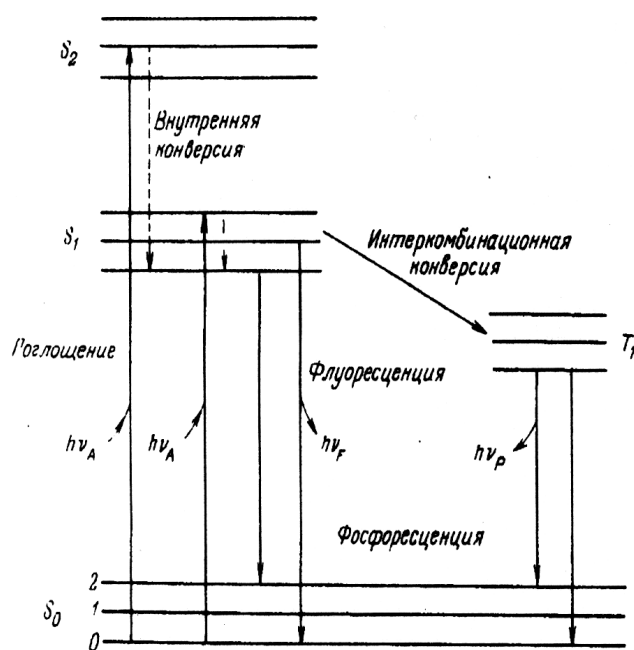


Рис. 5: Диаграмма Яблонского [7]

правило, является спонтанной люминесценцией, поэтому время излучения определяется временем жизни на возбуждённом уровне.

2. **Фосфоресценция** (время высвечивания от 10^{-3} с, до нескольких суток в зависимости от люминофора и способов его возбуждения).

1.1.2.2. Основные закономерности люминесценции

- Принцип Франка-Кондона

Часть электронной энергии при поглощении и испускании света должна расходоваться на увеличение колебаний структуры, превращаться в тепло. Явление наблюдается в результате резкого изменения градиента электронной энергии около ядер при возбуждении и релаксации.

- Постоянство спектра люминесценции

При возбуждении светом любой частоты, лежащей в пределах одной полосы поглощения, спектр люминесценции остается неизменным (см. рис. 6). Объясняется это тем, что излучательные переходы возможны лишь

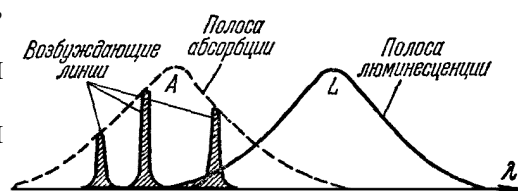


Рис. 6: Постоянство спектра излучения

с низшего возбуждённого на высший основной уровень. Разница же в их энергии есть постоянная величина.

- Правило Стокса-Ломмеля

Спектр люминесценции сдвинут относительно спектра поглощения в сторону длинных волн (см. рис. 7). Данное правило объясняется потерей некоторой части поглощённой энергии на тепловое движение молекулы.

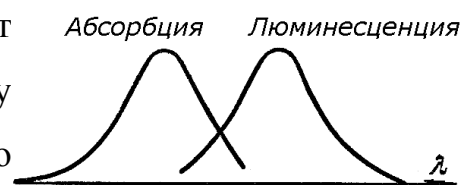


Рис. 7: Правило Стокса

- Антистоксова люминесценция

В некоторых случаях наблюдается смещение спектра люминесценции по отношению спектру поглощения в сторону коротких волн. В этом случае излученные кванты обладают энергией большей, чем кванты

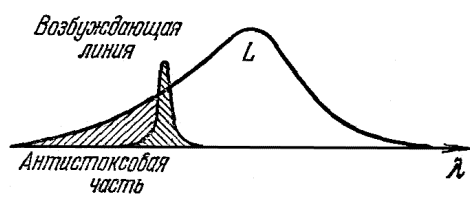


Рис. 8: Антистоксова люминесценция

возбуждающего света (см. рис. 8). Увеличение энергии квантов происходит за счет энергии теплового движения атомов.

- Закон Вавилова

Квантовый выход фотолюминесценции постоянен в широкой области длин волн возбуждающего излучения и резко уменьшается при длинах волн, превышающих максимум спектра фотолюминесценции. Для кристаллических люминофоров (кристаллофосфоров) закон Вавилова не выполняется.

- Правило зеркальной симметрии

Спектральные полосы испускания и поглощения в координатах частоты являются взаимным зеркальным отражением (см. рис. 9). Положение оси симметрии показывает энергию чисто электронного перехода.

- Затухание со временем

Кинетика затухания резонансной люминесценции при малой плотности возбуждения и малой концентрации возбуждённых атомов носит

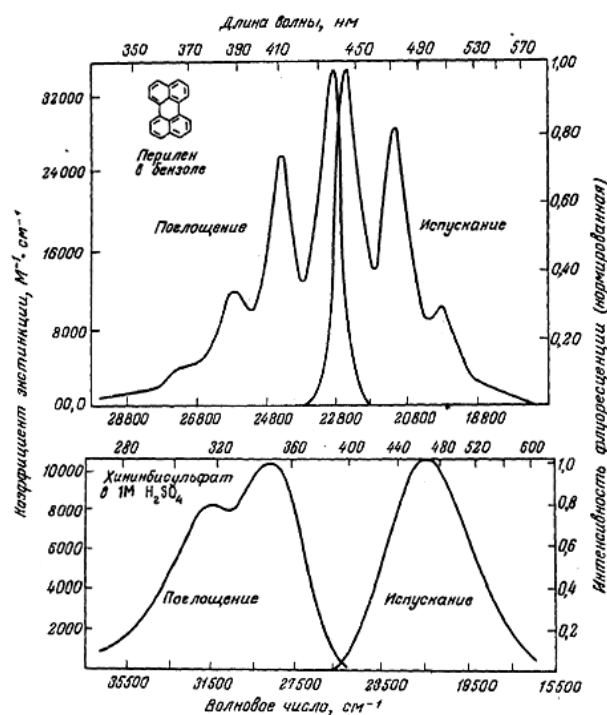


Рис. 9: Спектры поглощения и испускания флуоресценции перилена и хинина [7]

экспоненциальный характер: $I = I_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$, где τ характеризует время жизни на уровне возбуждения, t — длительность свечения (см. рис. 4). При большой плотности возбуждения наблюдается отклонение от экспоненциального закона затухания, вызванное процессами вынужденного излучения. Кинетика затухания спонтанной люминесценции также обычно носит экспоненциальный характер. Кинетика рекомбинационной люминесценции сложна и определяется вероятностями рекомбинации, захвата и освобождения электронов ловушками,

зависящими от температуры. Наиболее часто встречается гиперболический закон затухания: $I = \frac{I_0}{(1 + pt)^\alpha}$ (p — постоянная величина, α обычно принимает значение от 1 до 2).

- **Закономерности тушения люминесценции**

Отличие выхода люминесценции от единицы обусловлено так называемыми «процессами тушения». Различают концентрационное, внутреннее, температурное, внешнее статическое и динамическое тушение.

Внутреннее тушение обусловлено безызлучательными переходами внутренней конверсии и колебательной релаксации. Наиболее ярко оно проявляется в симметричных структурах с большим числом сопряженных связей, конформационно нежестких структурах.

Температурное тушение является разновидностью внутреннего. Под влиянием температуры способность молекулы деформироваться растёт, и, как следствие, растёт вероятность безызлучательных переходов.

Внешнее статическое тушение основано на взаимодействии люминесцирующего соединения с другой молекулой и образованием неизлучающего продукта.

Динамическое тушение наблюдается, когда возбуждённая молекула люминофора вступает в постороннюю реакцию и теряет свои свойства.

Концентрационное тушение заключается в уменьшении квантового выхода люминесценции с ростом концентрации красителя. Данный вид тушения является результатом поглощения молекулами вещества собственного излучения.

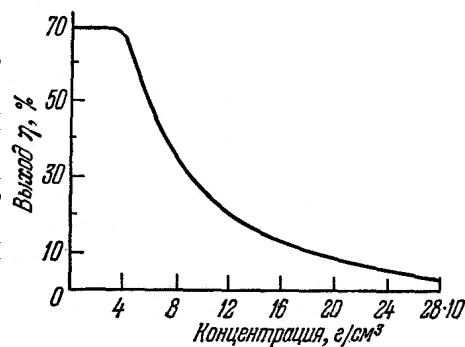


Рис. 10:
Концентрационное
тушение люминесценции

Далее рассматриваются демонстрации по

изложенному материалу из различных методических пособий.

1.2. Описание существующих демонстраций

Демонстрации изложенного теоретического материала приведены в печатных источниках [1—6, 14, 17] и в электронных [19—22, 25]. Для удобства демонстрации были сгруппированы по темам, к которым они относятся.

Тепловое излучение света

1. *Связь между поглотительной и испускательной способностями тела, закон Кирхгофа (Kirchhoff's Law of Radiation)* (см. с. 5) [17, с. 411] — визуальное сравнение излучений тёмного рисунка и белого фона разогретой до 1000°C фарфоровой чашки. Также можно сравнить излучение нагретых до 1000°C мела и угля. [3, с. 576] — излучение нагревателя с чёрной и зеркальной стенками измеряется термостолбиками, похожая демонстрация представлена в [17, с. 241], но вместо термостолбиков используются сосуды, заполненные воздухом и сообщающиеся тонкой трубочкой. В трубочке перемещается капля воды. В качестве нагревателя используется сосуд с горячей водой с белой и чёрной стенками. Упрощённой является демонстрация [17, с. 240] — наблюдение излучения разогретого докрасна угля.
2. *Модель излучения абсолютно чёрного тела* — [20, /modelsPhys/blackbod.html] наблюдение изменения графика спектра излучения абсолютно чёрного тела при изменении температуры. Есть возможно построения графика в координатах $I(\nu)$ и $I(\lambda)$.
3. *Зависимость цвета чёрного тела от температуры (Dependence of Color on Temperature* [17, с. 411]) — наблюдение изменения свечения лампы накаливания в зависимости от напряжения, подаваемого на лампу.
4. *Непрерывный спектр излучения* — наблюдение непрерывного спектра от лампы накаливания или дугового фонаря [3, с. 568; 2, с. 380; 6, с. 146].

Также возможна количественная демонстрация по снятию кривой интенсивности излучения (Radiation Intensity Curve). [2, с. 389; 3, с. 575; 17, с. 411] — наблюдение кривой интенсивности излучения дугового фонаря или лампы накаливания. Кривая снимается, помещая термостолбик в разные части проекции спектра, и наблюдается ток при помощи высокоточного гальванометра.

5. *Наблюдение максимума излучения лампы накаливания в инфракрасной области* (Обнаружение инфракрасного излучения в спектре [2, с. 393; 6, с. 148]) — наблюдение максимума излучения лампы накаливания в инфракрасной области. Наблюдения производятся с помощью термостолбика.
6. *Спектр поглощения нелюминесцирующих веществ* (Спектры поглощения [3, с. 570]) — наблюдение полос поглощения марганцовокислого калия. Для этого плоскопараллельную кювету с чистой водой ставят перед призмой прямого зрения. В кювету вливают небольшими порциями концентрированный раствор марганцовокислого калия. После каждого вливания раствор размешивают стеклянной палочкой. Полосы поглощения становятся постепенно всё более отчетливыми, пока не станут наиболее чёткими.
7. *Сравнение спектров поглощения люминесцирующих и нелюминесцирующих веществ*. Хороший спектр с характерными полосами поглощения даёт кубик из так называемого «дидимового стекла» (стекла с добавками неодима и празеодима). Во время демонстрации кубик прижат непосредственно к щели. Интересно показать отличие получаемого спектра от спектра марганцовокислого калия, несмотря на то, что раствор последнего мало отличается по цвету от дидимового стекла.
8. *Наблюдение спектров излучения трёх источников света: лампы накаливания, ртутной лампы и лазера* — одновременно одна над другой

наблюдаются три проекции спектров трёх источников с помощью призм прямого зрения [14].

Люминесцентное излучение света

9. *Линейчатые спектры* [3, с. 573] — наблюдение спектра свечения дуги, а не угольных элементов дуговой лампы. Для этого в нижнем электроде высверливается полость, в которую помещаются соли различных металлов. Наблюдаются спектры свечения этих металлов. Также линейчатые спектры можно наблюдать у излучения газоразрядных ламп. Описания этих демонстраций также можно найти в [2, с. 384; 6, с. 147].
10. *Флуоресценция* [3, с. 581] — наблюдение флуоресценции уранового стекла и растворов флуоресцирующих веществ (флуоресцеин, родамин-В, хинин, хвойный экстракт, эозин, эскулин, магдала, хлорофилл, риваноль и др.) в свете луча от проекционного фонаря.
11. *Фосфоресценция* [3, с. 583] — наблюдение свечения фосфоресцирующих порошков или растворов флуоресцирующих красок (флуоресцеин, родамин-В, хинин, хвойный экстракт, эозин, эскулин, магдала, хлорофилл, риваноль и др.) в аморфном сахаре.
12. *Триболюминесценция* [3, с. 583] — наблюдение свечения сернистого цинка с марганцем в качестве активатора. Измельчённые в ступке до порошкообразного состояния реактивы насыпают между двумя стеклами (лучше часовыми) и растирают движением одного стекла по другому в темной аудитории.
13. *Хемилюминесценция* [3, с. 585] — сливают вместе 10 см³ 10%-го раствора пирогаллола, 10 см³ не менее чем 30%-го раствора формальдегида и 20 см³ 40%-го раствора поташа. Свечение возникает, если в небольшую колбу с указанной смесью влить 30 см³ 30%-й перекиси водорода.
14. *Катодолюминесценция (Люминесценция под действием катодных лучей)* —

наблюдение люминесценции трубок с различными люминесцирующими веществами под действием катодных лучей [3, с. 519].

15. *Электролюминесценция активной среды лазера* — демонстрация электронных переходов в активной среде лазера под действием электрического тока. Наблюдение спонтанной и вынужденной люминесценции [20, /modelsPhys/laser.html].

16. *Люминесценция в ультрафиолетовом спектре* [3, с. 586] — луч света от ртутной лампы (или источника с непрерывным спектром) пропускают через ультрафиолетовый фильтр и направляют на флуоресцирующий объект. Наблюдается свечение при внесении объекта в невидимый ультрафиолетовый луч.

17. *Ускорение высвечивания* [3, с. 584] — к засвеченному фосфоресцирующему экрану прикладывается разогретый металлический диск. На другой стороне экрана наблюдается сначала увеличение интенсивности свечения в той части где приложен диск, а со временем — снижение интенсивности до уровня ниже, чем у неразогретой части экрана.

18. *Флуоресценция и поглощение* [3, с. 582] — берутся два сосуда с растворами одинаковых флуоресцирующих веществ. В сходящийся пучок белого света ставят сначала один сосуд — наблюдается свечение раствора, потом перед этим сосудом ставят второй сосуд и наблюдается гашение свечения в первом сосуде и свечение во втором.

19. *Тушение фосфоресценции красными или инфракрасными лучами* [3, с. 584] — для наблюдения получают проекцию спектра белого источника света. Фосфоресцирующий образец помещается сначала в фиолетовую часть спектра, наблюдается свечение образца. Затем образец переносится в красную или инфракрасную часть спектра и свечение прекращается.

Поглощение света

20. *Спектры поглощения* [3, с. 571] — в проекцию спектра света непрерывного источника света вносят раствор марганцовокислого калия, при этом наблюдаются характерные полосы поглощения в зелёной части спектра. Данный спектр можно сравнить со спектром поглощения дидимового стекла, т.е. стекла, окрашенного солью неодима. Несмотря на то, что раствор марганцовокислого калия мало отличается по цвету от дидимового стекла, можно наблюдать различие их спектров поглощения.
21. *Поглощение света парами натрия* [3, с. 574] — на экран проецируют непрерывный спектр электрической дуги, между щелью и объективом проекционного фонаря помещают пламя газовой горелки, окрашенное парами натрия — для этого над горелкой держат ложку с кусочками натрия.
22. *Обращение спектральной линии натрия* — [2, с. 385] на экране получают проекцию спектра дуговой лампы. В пламя дуги бросают кусочек натрия, который вспыхивает ярким желтым светом и на экране видна яркая желтая линия. После этого создаются условия такие, что луч света проходил через пары натрия, во время нагрева его (натрия) на горелке перед дуговым фонарем. Наблюдается темная полоса в желтой части спектра. Также возможна демонстрация где в огнеупорном кирпиче просверливаются три канала: один вдоль кирпича, другой поперек кирпича и третий — вертикально до места пересечения первых двух. В поперечный канал вставляют два угольных электрода, поджигают получившуюся лампу, через второе горизонтальное отверстие наблюдается спектр лампы. В пламя дуги через верхнее отверстие бросают кусочек натрия, после чего верхнее отверстие накрывают [6, с. 147].
23. *Сравнение поглощения чёрной и белой поверхностей.* (Поверхностное поглощение (Surface Absorption) [17, с. 340]) — тепловое излучение поглощается двумя термостолбиками, на которые надеты колпачки, при

этом сначала на оба термостолбика надеваются белые колпачки, потом чёрные колпачки. Замечают что термостолбики нагреваются примерно одинаково и в случае чёрных колпачков нагреваются сильнее. После этого на один из термостолбиков надевают чёрный колпачок, а на другой — белый. Наблюдается повышенная температура на термостолбике с чёрным колпачком по сравнению с белым.

Более простая демонстрация приведена в [3, с. 570] — свет от дугового фонаря фокусируют сначала на белую бумагу — бумага не загорается. После этого фокусируют на чёрную и чёрная бумага загорается.

Инфракрасное излучение

24. *Обнаружение инфракрасного излучения в спектре* (см. 4).

25. *Выделение и поглощение инфракрасных лучей фильтрами* [2, с. 394] — наблюдение неодинакового поглощения инфракрасных лучей различными телами. В проекцию спектра от дугового фонаря вносят стекло и наблюдается значительное снижение инфракрасного излучения. Затем вносится ИК фильтр — инфракрасное излучение изменяется не так сильно. Интенсивность инфракрасного излучения измеряется с помощью термостолбика, поставленного в область инфракрасной части спектра. Также на этой установке можно пронаблюдать насколько хорошо пропускают или поглощают инфракрасное излучение различные сорта стекла, тонкая бумага, слюда, тонкий эбонит, раствор медного купороса и др.

26. *Установление теплового равновесия* («Фокусировка холода» [3, с. 578]) — наблюдение нагрева или охлаждения тела при установлении теплового равновесия через излучение. Для демонстрации используются два металлических параболических зеркала (зеркала Пиктэ). В фокус одного зеркала помещают термостолбик (подключенный к гальванометру), в фокус другого сначала помещают нагретый предмет и наблюдают смещение

стрелки вправо. После этого в фокус второго зеркала помещают кусок льда и наблюдают смещение стрелки влево.

27. *Нагревание инфракрасным излучением* [3, с. 570] — колбу вместимостью 200 см³ или меньше, наполненную до горлышка раствором йода в сероуглероде (CS₂), помещают вместо конденсора дугового фонаря. При таких условиях колба выполняет роль линзы, пропускающей инфракрасное и поглощающей видимое излучение. Вблизи её поверхности получается невидимое инфракрасное изображение углей дуговой лампы. В это изображение вносится на пинцете вата, покрытая сажой. Когда изображение будет сфокусировано на вате — вата вспыхнет.

Ультрафиолетовое излучение

28. *Обнаружение и выделение ультрафиолетового излучения* [3, с. 585; 2, с. 398; 6, с. 149] — на экран проецируют спектр от дугового фонаря с помощью кварцевых линз и кварцевой призмы. В случае если нет кварцевых линз и призмы — можно обойтись стеклянными. Ближнее ультрафиолетовое излучение проходит через стекло. Далее к экрану подносится второй экран для обнаружения рентгеновских лучей (или другой экран с люминесцирующим покрытием). Наблюдается свечение экрана за границей видимой фиолетовой области. Этот же опыт можно продемонстрировать используя в качестве источника света ртутную лампу. С помощью люминесцирующего экрана можно увидеть невидимую ультрафиолетовую линию излучения.

Также в литературе описан ряд демонстраций по физиологической оптике (восприятие цвета, сложение и вычитание цветов и т.п), необходимых для понимания экспериментов: цвет (Color) [9, с. 404], смешение световых пучков различной окраски и смешение красителей [3, с. 572], сложение цветов (Combination of Colors by Addition) [17, с. 405], вычитание цветов (Combination of Colors by Subtraction) [17, с. 407], дополнительные цвета (Complementary

Colors) [17, с. 408].

Как видно, данный список достаточно обширен, но чтобы стало понятно, можно ли им охватить исследуемую тему, следует систематизировать демонстрации.

1.3. Принципы создания систем демонстраций

В предыдущем пункте было рассмотрено современное состояние демонстрационного эксперимента по теме «Излучение и поглощение света» курса общей физики и выдвинута идея о необходимости создания системы лекционных демонстраций для этой темы. В этом пункте описаны принципы создания методических систем.

Совокупность лекционных демонстраций можно построить таким образом, чтобы она обладала всеми признаками *методической системы*:

1. Содержанием
2. Структурой
3. Целостностью
4. Полнотой
5. Иерархичностью

Под *содержанием системы* понимаются её элементы, то есть лекционные демонстрации различных типов и форм (натурные, модельные и иллюстративные). Их использование взаимосвязано и взаимообусловлено. *Структура системы* отражает взаимосвязи между различными элементами. Важнейший её признак — *целостность*, т.е. появление у совокупности элементов таких свойств, которых нет у каждого из них в отдельности. Целостность системы определяется *полнотой* состава элементов, взаимосвязями между ними, наличием целей у каждого из элементов и их связью с целью системы, которая не тождественна целям отдельных её

элементов. **Иерархичность** проявляется во взаимодействии с другими методическими системами, например с методической системой демонстраций по оптике в целом или с методической системой преподавания общей физики.

Опишем возможный вариант построения методической системы лекционных демонстраций по излучению и поглощению света, придерживаясь традиционной структуры изложения (см., например, [4]): цели, содержание, структура, методы, средства, формы реализации.

Таким образом, каждая демонстрация должна иметь свои цели, тематику, форму реализации. Взаимосвязи между демонстрациями могут проявляться как на содержательном, так и на методическом уровнях.

По дидактическим целям можно выделить четыре типа демонстраций:

1. Источник знания — аналог исследовательской формы научного эксперимента
2. Критерий истинности — аналог проверочной формы научного эксперимента
3. Создание проблемной ситуации
4. Иллюстрация знания, сообщенного в готовом виде

По форме реализации можно выделить следующие типы демонстраций:

- Иллюстративные материалы
- Компьютерные модельные демонстрации
- Натурные качественные демонстрации
- Натурные количественные демонстрации

Из вышеизложенного получаем задачи для создания методической системы демонстраций по теме «Излучение и поглощение света»:

1. Создание структуры. Дополнительным требованием является такое

построение структуры системы лекционных демонстраций, чтобы в систему вошли уже имеющиеся демонстрации

2. Создание целостности. Все элементы методической системы должны быть логически взаимосвязаны

На основании изложенного теоретического материала в следующей главе показана разработанная структура системы лекционных демонстраций по теме «Излучение и поглощение света» и даны предпосылки к созданию новых и усовершенствованию старых демонстраций.

Глава 2. Разработка методической системы лекционных демонстраций на основе современных технологий

Перед обсуждением темы, преподаватель с помощью демонстраций может создать проблемную ситуацию, тем самым повысив интерес слушателей к рассматриваемой проблеме. А завершая тему, демонстрации могут стать хорошей иллюстрацией изложенного материала. В том случае, где на исследуемое явление существуют несколько теорий, лекционные демонстрации могут стать хорошим критерием истинности некоторых из этих теорий. Кроме того, демонстрации показывают, как применяется изученное явление на практике.

2.1. Использование методических требований для создания системы демонстраций по излучению и поглощению света

В связи с вышеизложенным, была разработана следующая система демонстраций по теме «Излучение и поглощение света».

Разработка структуры системы демонстраций

Структуру системы демонстраций по излучению и поглощению света разумно связать со структурой демонстрируемого теоретического материала (см. стр. 5—15). Однако, при рассмотрении теории физики, можно заметить что для описания явлений часто используется их сравнение. Например, спектр люминесцентного излучения не зависит от температуры в отличие от теплового излучения, спектр которого определяется температурой. Здесь даётся сравнение люминесцентного и теплового излучений, что является очень важным для восприятия материала.

Разработанная структура системы демонстраций дана в таблице 1.

	Натурные качественные	Натурные количе- ственные	Иллюстратив- ные материалы	Компьютер- ные модели
Источники излучения				
Различия излучения и поглощения тепловых и люминесцентных источников				
Различие формы спектров излучения источников	8, новая			
Различие спектров поглощения	7, 20			
Различие зависимостей спектров излучения от температуры источника				
Различие КПД				
Типы тепловых источников				
Модель абсолютно черного тела				2
Серые тела, степень серости		26		
Типы люминесцентных источников				
Типы люминесцентных источников по механизму возбуждения				
Фотолюминесцентные				
Радиолюминесцентные				
Люминесценция в ультрафиолетовой части спектра	16, 28, новая			
Люминесценция в инфракрасной части спектра				
Рентгенолюминесцентные	Опасно	Опасно		
Катодолюминесцентные	14, новая, новая			
Ионолюминесцентные				
Альфа-люминесцентные				
Электролюминесцентные				14
Триболюминесцентные	12			
Хемилюминесцентные	13, новая, новая			

Таблица 1: Таблица явлений и зависимостей, представленных и не представленных демонстрациями

	Натурные качественные	Натурные количе- ственные	Иллюстратив- ные материалы	Компьютер- ные модели
Типы люминесцентных источников по механизму внутреннего преобразования энергии				
Источники со спонтанной люминесценцией	новая			14
Источники с вынужденной люминесценцией	новая			14
Источники с резонансной люминесценцией				
Источники с рекомбинационной люминесценцией	новая			
Источники со Сверхизлучением и суперлюминесценцией				
Типы люминесцентных источников по временным характеристикам свечения				
Флуоресцентные	10			
Фосфоресцентные	11			
Закономерности излучения и поглощения тепловых источников				
Закон Планка	4, 24			
Закон смещения Вина	5			
Закон Стефана-Больцмана				
Закон Кирхгофа и правило Прево	1, 23	1		
Зависимость цвета излучения от температуры	3			
Спектр поглощения	6, 22			

Продолжение табл. 1

	Натурные качественные	Натурные количе- ственные	Иллюстратив- ные материалы	Компьютер- ные модели
Закономерности излучения и поглощения люминесцентных источников				
Принцип Франка-Кондона				
Правило Стокса-Ломмеля	новая			
Постоянство спектра люминесценции	новая			
Линейчатость спектра люминесценции	9			
Антистоксова люминесценция	—			
Закон Вавилова	новая			
Правило зеркальной симметрии				
Затухание со временем	новая			
Поляризация излучения				
Ускорение высвечивания	17			
Тушение люминесценции	19			
Внутреннее тушение				
Температурное тушение				
Внешнее статическое тушение				
Динамическое тушение				
Концентрационное тушение	новая			
Спектр поглощения	21, 22			
Общее поглощение и светофильтры				
Закон Бугера-Ламберта				
Закон Бера				
Различия абсорбционных и интерференционных светофильтров				
Абсорбционные светофильтры	25			
Интерференционные светофильтры				

Окончание табл. 1

Разработка целостности системы демонстраций

Для усиления взаимосвязи элементов системы, в структуру должны войти элементы сравнения различных явлений.

В системе демонстраций встречаются два вида демонстраций:

- Демонстрации, в которых основное внимание уделяется сопоставлению различий типичных характеристик исследуемых объектов
- Демонстрации с подробным рассмотрением характеристик исследуемых объектов, более детальным рассмотрением закономерностей.

Данные виды демонстраций созданы для реализации взаимосвязи между элементами системы.

Можно видеть, что некоторые части этой системы не подкреплены демонстрациями. Следовательно необходимо разработать недостающие демонстрации. Ниже описаны новые демонстрации.

2.2. Использование современных технологий для демонстраций явлений излучения и поглощения света

С бурным развитием науки и техники появляются новые законы и устройства для их наблюдения и демонстрации. Это существенно расширяет возможности для показа демонстрационных экспериментов.

Одним из примеров новых технологий является ультрафиолетовая люминесцентная лампа.

В частности, с появлением видеокамер и видеопроекторов, можно показывать демонстрации, в которых малы или размеры демонстрируемых явлений или интенсивности наблюдаемых излучений.

В данной работе широко использовалась оригинальная установка для

наблюдения спектров излучения с помощью призмы прямого зрения (призмы Амичи) и видеокамеры (рис. 11).



Рис. 11: Установка для наблюдения спектров излучения с помощью видеокамеры

При фокусировке видеокамеры на исследуемый объект, на экране наблюдается чёткое изображение объекта. Если же поставить между объектом и камерой призму Амичи, то на экране будут наблюдаться изображения объекта разных цветов один рядом с другим как если бы этот объект наблюдался глазом через призму прямого зрения.

Данная установка имеет ряд преимуществ по сравнению со схемами, в которых источник света должен был обладать высокой интенсивностью для

того чтобы можно было наблюдать проекцию его спектра на демонстрационный экран. По этой причине небыло возможности показывать те демонстрации, в которых наблюдался бы спектр источников с малой интенсивностью.

Вторым преимуществом является возможность не использования щели (как это обычно делается в спектральных приборах). С данной установкой некоторые предметы могут сами выступать в роли щели. К примеру, длинные электролюминесцентные трубки низкого давления могут выступать в роли щели если на камере сделать «отъезд» (то есть такую настройку, при которой наблюдается максимально большая область изображения). Таким образом на экране будет наблюдаться тонкая длинная полоса — изображение трубки электролюминесцентной лампы. Если перед камерой поставить призму прямого зрения так чтобы плоскость симметрии призмы была перпендикулярна оси лампы, то на экране будет наблюдаться изображение спектральных линий излучения лампы. Фрагмент изображения спектра излучения неоновой электролюминесцентной лампы, полученного с помощью новой установки показан на рис. 12.

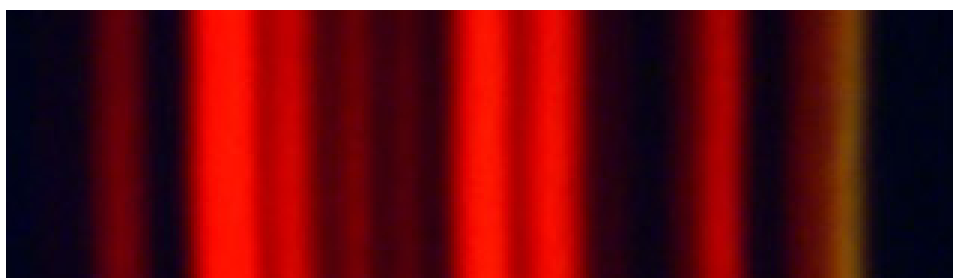


Рис. 12: Фрагмент длинноволновой части спектра электролюминесцентной лампы, полученного с помощью разработанной установки

На полученном изображении отчётливо видны спектральные линии, что является показателем достаточной разрешающей способности чтобы показывать данную установку на лекциях.

Другим устройством, используемым для разработки новых демонстраций является ультрафиолетовая лампа.

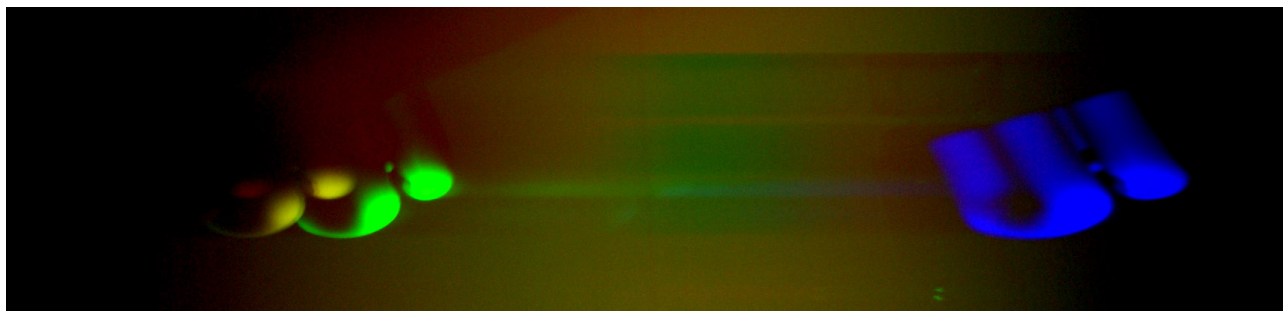


Рис. 13: Изображения ультрафиолетовой лампы, наблюдаемые с помощью разработанной установки

Данная лампа обладает рядом преимуществ по сравнению с используемой в настоящее время установкой для получения ультрафиолетового излучения (с помощью ртутной лампы и ультрафиолетового светофильтра). Первым отличием является компактность, лёгкость использования и универсальность, поскольку лампа сделана с цоколем E27, что позволяет её использовать практически в любой настольной лампе, поэтому она может использоваться не только в хорошо оборудованных университетах, но даже в школах. Вторым достоинством является цена, сравнимая со стоимостью обычной люминесцентной лампы это так же позволяет использовать эту лампу и в школах.

Использование ультрафиолетовой лампы способствует повышению эффективности демонстраций, поскольку теперь внимание зрителей привлекает само явление, а не вызывающая его громоздкая установка для получения ультрафиолетового излучения.

Далее рассмотрены новые, усовершенствованные и восстановленные лекционные демонстрации, использующие описанные устройства.

Глава 3. Новые, усовершенствованные и восстановленные демонстрационные эксперименты, разработанные в рамках системы лекционных демонстраций

Благодаря новым технологиям, описанным в главе 2, появилась возможность создать некоторые новые демонстрации, усовершенствовать и сделать более доступными старые и создать цифровой фото и видео материал по этим демонстрациям. Появление идеи о создании конкретных демонстраций является следствием анализа разработанной методической системы. Кроме того, описания демонстраций приведены в соответствии с методическими рекомендациями описанными в главе 2, выдвигаемыми к созданию демонстраций.

3.1. Новые демонстрации

Новые демонстрации разработаны с использованием ультрафиолетовой лампы и установкой для наблюдения спектров излучения с помощью видеокамеры.

1. Использование фотолюминесценции для обнаружения люминесцентных красителей

Цель демонстрации: качественное установление различия люминесценции и рассеяния.

Идея эксперимента: окраска вещества зависит не только от поглощения, но и переизлучения вещества. Для демонстрации этого два раствора — перманганата калия и родамина-Б освещают сначала лампой накаливания и наблюдают практически одинаковый цвет растворов, а затем освещают ультрафиолетовой лампой и наблюдают яркое свечение раствора родамина-Б и

отсутствие свечения раствора перманганата натрия.

Описание установки: в аудитории с лампами накаливания или люминесцентными «лампами дневного света» зашториваются окна. Готовятся слабые (бледно-розовые) растворы родамина-Б и перманганата калия (марганцовки). Растворы готовятся таким образом, что они неразличимы по окраске в аудитории при «обычном освещении» (то есть при таком освещении, которое используется при чтении лекции).



Рис. 15: Растворы в свете лампы накаливания (Родамин-Б слева, перманганат калия — справа)



Рис. 14: Растворы в свете ультрафиолетовой лампы (Родамин-Б слева, перманганат калия — справа)

Методика демонстрации: для демонстрации готовят два раствора: родамина и перманганата калия таким образом, чтобы цвета растворов при обычном освещении были бледно-розовыми и практически не отличались.

При освещении же ультрафиолетовой лампой, раствор родамина начинает ярко светиться оранжевым светом и становится непрозрачным (для ультрафиолета), а раствор марганцовки не светится и остаётся прозрачным.

Стоит заметить что раствор перманганата калия нужно готовить не больше чем за час до лекции, поскольку за восемь часов его окраска заметно меняется в связи с окислительными реакциями.

2. Фотолюминесценция растворов при облучении ультрафиолетовой лампой

Цель демонстрации: наблюдение явления фотолюминесценции различных растворов.

Идея эксперимента: различные растворы освещаются ультрафиолетовой лампой в тёмной аудитории. Наблюдается свечение люминесцирующих веществ.

Описание установки: Для демонстрации используется ультрафиолетовая лампа и люминесцирующие растворы флуоресцеина (зелёный водный раствор, цвет свечения — зелёный), родамина-Б (розовый водный или спиртовой раствор, цвет свечения — бледно-оранжевый) и акридина оранжевого (жёлто-оранжевый водный раствор, цвет люминесценции — жёлтый).

Методика демонстрации: люминесцирующие растворы подносят к включённой лампе в затемнённом помещении.

При включении лампы наблюдается свечение белых хлопчатобумажных тканей, белых листов бумаги. В ультрафиолетовом излучении можно наблюдать свечение растворов флуоресцеина, хинина (содержится например в напитке Schweppes), родамина В, эозина, магдалы, риванола, эскулина, керосина. Растворы наливают в прозрачные стаканы.

3. Красная фотолюминесценция зелёного листа растения

Цель демонстрации: наблюдение красной фотолюминесценции (флуоресценции) хлорофилла в зелёном листке растения.

Идея эксперимента: при освещении зелёного листка растения ультрафиолетовой лампой — наблюдается красное свечение этого листка.

Описание установки: для демонстрации используется ультрафиолетовая лампа и зелёный лист растения.

Методика демонстрации: сначала демонстрируется зелёный лист растения при обычном освещении. После этого свет выключают и включают ультрафиолетовую лампу. При внесении зелёного листа область ультрафиолетового излучения, можно наблюдать красное свечение (люминесценция хлорофилла) в излучении ультрафиолетовой лампы.

4. Возбуждение фотолюминесценции и катодолюминесценции экрана ЭЛТ

Цель демонстрации: наблюдение люминесценции одного и того же вещества при различных типах возбуждения.

Идея эксперимента: демонстрируется излучение экрана включённого демонстрационного осциллографа (с ЭЛТ) или монитора (с ЭЛТ). Свечение вызвано попаданием электронов от ЭЛТ в экран с люминесцентным покрытием. Если же выключить осциллограф (монитор) и поднести к его экрану работающую ультрафиолетовую лампу — снова будет наблюдаться свечение, но уже вызванное

Описание установки: телевизор с ЭЛТ-трубкой или демонстрационный осциллограф, ультрафиолетовая лампа.

Методика демонстрации: в затемнённом помещении демонстрируется светящийся экран включённого ЭЛТ-телевизора или демонстрационного осциллографа с ЭЛТ. При этом желательно установить максимальную яркость. После этого выключается питание телевизора (или осциллографа) и демонстрируется люминесценция экрана при возбуждении ультрафиолетовой лампой.

5. Катодолюминесценция экрана ЭЛТ

Цель демонстрации: наблюдение катодолюминесценции.

Идея эксперимента: при попадании пучка электронов ЭЛТ на

люминесцирующий экран, наблюдается свечение и на экране видна точка, в которую попадает пучок электронов. Свечение, вызванное попаданием электронов на поверхность тела, называется катодolumинесценция.

Описание установки: телевизор с ЭЛТ-трубкой или демонстрационный осциллограф.

Методика демонстрации: наиболее простой является демонстрация электронно-лучевой трубки или экрана телевизора. Возможен показ больших лекционных осциллографов.

6. Хемилюминесценция светящихся палочек (Light sticks)

Цель демонстрации: наблюдения явления хемилюминесценции.

Идея эксперимента: в светящихся палочках используется реакция разложения оксалатов ароматических спиртов пероксидом водорода с выделением энергии (~ 70 ккал/моль). Появившаяся энергия поглощается красителем, который и излучает полученную энергию в виде света. Цвет излучения зависит только от используемого красителя.

Красители, как правило, используются антраценового ряда. Рубрен — красный, 9,10-бис (фенилэтинил) антрацен — жёлто-зелёный и т.д.

Описание установки: хемилюминесцентные палочки (одна или несколько).

Методика эксперимента: во время демонстрации сгибают палочку, при этом ломается ампула, находящаяся в ней. После этого наблюдается эффектное свечение, вызванное химическими реакциями, описанными выше.

7. Наблюдение спектра хемилюминесценции светящихся палочек (Light sticks)

Цель демонстрации: наблюдение спектра хемилюминесценции светящихся палочек (Light sticks)

Идея эксперимента: видеокамеру располагают так, чтобы с её помощью наблюдалась светящаяся трубка. Если перед объективом видеокамеры поставить призму (лучше призму прямого зрения), то с помощью видеокамеры будет наблюдаться сплошной спектр излучения.

8. Постоянство спектра люминесценции

Цель демонстрации: установление независимости спектра люминесценции от длины волны возбуждающего света.

Идея эксперимента: при внесении люминесцирующего раствора в различные части проекции спектра, цвет люминесценции не меняется.

Описание установки: собирается установка для проекции спектра белого источника света. Приготавливается раствор родамина-Б или флуоресцеина.

Методика демонстрации: для демонстрации данного явления проецируют на экран спектр источника белого света с помощью призмы прямого зрения и объектива.

Далее в различные части спектра вносят колбу с раствором флуоресцеина или родамина. Независимо от света, которым освещается раствор, свет излучения раствора остаётся постоянным. При внесении растворов в красную область флуоресценция прекращается.

9. Спектры электролюминесценции газоразрядных трубок

Цель демонстрации: наблюдение спектров электролюминесценции газоразрядных трубок.

Идея эксперимента: электрический разряд в лампе переводит молекулы газа в возбуждённое состояние. При переходе в основное состояние, молекулы излучают энергию в виде света, в результате этого наблюдается свечение газа в трубке.

Видеокамеру располагают так, чтобы с её помощью наблюдалась трубка газоразрядной лампы. Если перед объективом видеокамеры поставить призму (лучше призму прямого зрения), то с помощью видеокамеры будут наблюдаться друг под другом изображения лампы спектральных цветов.

Описание установки: для демонстрации используются газоразрядные трубки низкого давления и установка для наблюдения спектров с помощью видеокамеры.

Методика демонстрации: демонстрацией электролюминесценции может служить показ неоновых, аргонных и других газоразрядных трубок, не имеющих слоя люминофора на поверхности трубки. Можно продемонстрировать работу открытого He-Ne лазера, свечение в котором также является электролюминесценцией.

10. Наблюдение концентрационного тушения люминесценции с помощью ультрафиолетовой лампы

Цель демонстрации: наблюдение процесса концентрационного тушения люминесценции.

Идея эксперимента: при увеличении концентрации раствора флуоресцеина наблюдается сначала увеличение интенсивности люминесцентного излучения за счёт увеличения концентрации молекул люминесцирующего вещества. При дальнейшем повышении концентрации наблюдается уменьшение излучения, поскольку переизлучённая энергия одних молекул поглощается другими.

Описание установки: флуоресцентная лампа, колба с водой и колба с сильным раствором флуоресцеина.

Методика демонстрации: для наблюдения концентрационного тушения готовится слабый раствор флуоресцеина в воде (зелёный) и сильный (оранжевый). Демонстрация проводится при свете ультрафиолетовой лампы. Во время показа в слабый раствор добавляют сильный, при этом сначала

наблюдается усиление свечения раствора, а при дальнейшем увеличении концентрации — уменьшение.

3.2. Модифицированные демонстрации

1. Различие спектров излучения активной среды открытого лазера вдоль луча лазера и перпендикулярно ему

Цель демонстрации: наблюдение различия *формы* спектров излучения активной среды вдоль лазерного луча и перпендикулярно ему.

Идея эксперимента: в связи с особенностями строения лазера, для лазерного излучения характерен узкий спектр. В случае излучения не вдоль лазерного наблюдается спектр излучения активной среды. В обоих случаях наблюдается электролюминесценция, но в направлении излучения вдоль лазерного луча это вынужденная люминесценция, а в других направлениях — спонтанная.

Описание установки: в луч открытого лазера вносится призма прямого зрения так чтобы выходящий луч попадал на экран. Перпендикулярно лазеру на расстоянии 2—6 метров ставят установку по наблюдению спектра с помощью видеокамеры.

Методика демонстрации: в лазерный луч вносится призма прямого зрения и на экране наблюдается красная точка — спектр лазерного излучения. Делается вывод что лазерное излучение в данном случае монохроматическое. После этого включают видеокамеру и с помощью проектора наблюдают спектр излучения активной среды. Наблюдается линейчатый спектр излучения с различными длинами волн. Делается вывод что излучение активной среды в направлении лазерного излучения и перпендикулярно ему — отличаются количеством спектральных полос.

2. Наблюдение границы спектра поглощения родамина-Б

Цель демонстрации: наблюдение границы спектра поглощения раствора родамина-Б.

Идея эксперимента: в проекцию непрерывного спектра помещают раствор родамина-Б. Наблюдается изменение спектра, проецируемого на экран.

Описание установки: для получения спектра собирается установка по схеме, изображённой на рис.16. Щель с размерами 1х10 мм располагается на

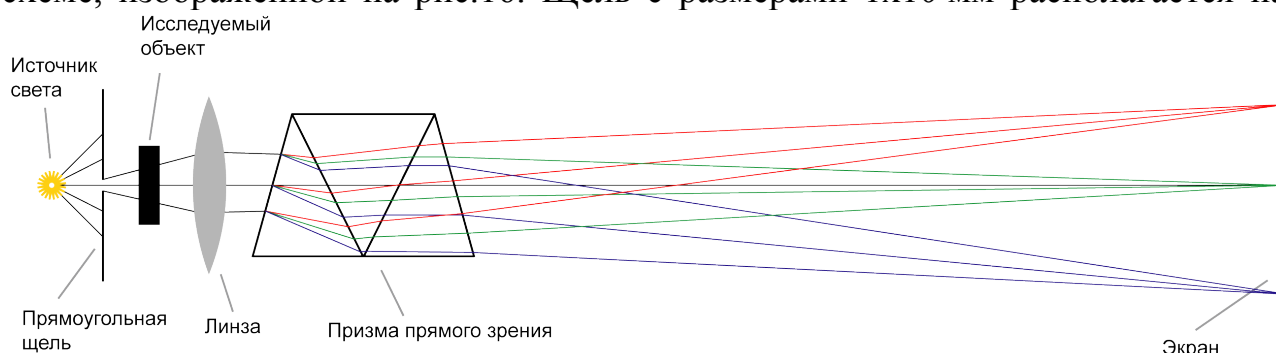


Рис. 16: Схема классической установки для демонстраций спектров расстоянии 8—15 см от источника света. Далее ставится линза так, чтобы на экране наблюдалось четкое изображение щели (расстояние должно быть порядка фокусного). Затем в пучок света после линзы ставится призма прямого зрения (призма Амичи) так, чтобы на экране было видно горизонтальное изображение спектра источника света. После внесения призмы, вертикальные границы изображения спектра на экране могут получиться несколько размытыми. Этот недостаток следует устранить продольным перемещением линзы. Приготавливается концентрированный спиртовой раствор родамина-Б.

Методика демонстрации: получают изображение спектра дугового фонаря. В узкую часть светового пучка (см. рис. 16) устанавливается ёмкость с люминесцирующим раствором так чтобы весь свет проходил через люминесцирующее вещество. Ёмкость должна быть с плоскопараллельными стенками, чтобы она не искажала направления распространяющихся через неё лучей. На экране наблюдается изменение спектра — часть спектра становится менее интенсивной или совсем пропадает. Наиболее яркий эффект наблюдается

при использовании спиртового раствора родамина-Б. При этом видна резкая граница между частью спектра, в которой происходит поглощение и той, в которой поглощения нет.

Примечание: в литературе [3] демонстрируется тень от раствора

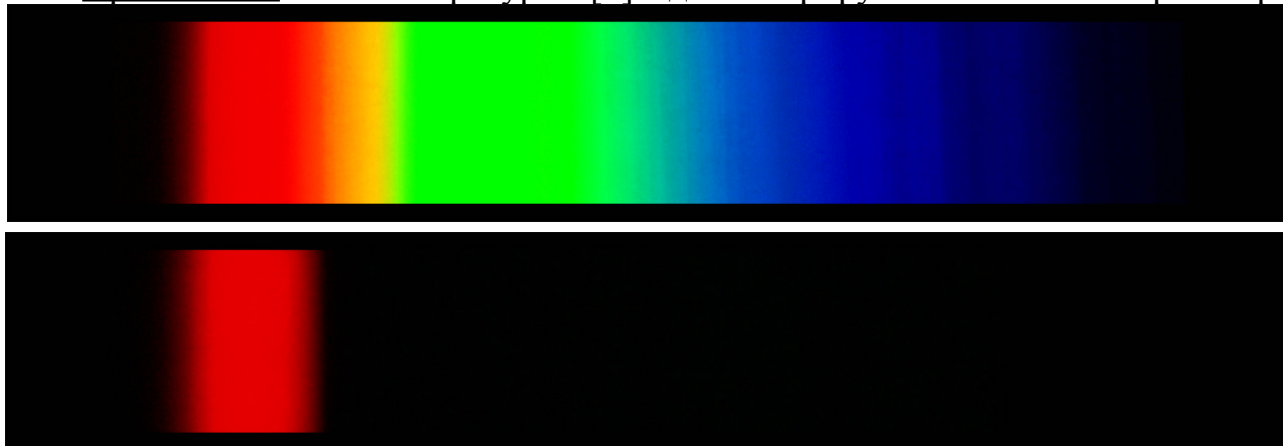


Рис. 17: Проекция спектра дугового фонаря до внесения раствора родамина-Б (сверху) и после (снизу)

флуоресцеина. В синей и зелёной области тень наблюдается, а в красной — нет.

3.3. Цифровые иллюстративные материалы

К цифровым иллюстративным материалам относятся как цифровые фотографии, так и таблицы, схемы и рисунки, записанные на цифровые носители информации. Современные средства фото- и видеосъёмки позволяют произвести высококачественные изображения демонстрационных экспериментов. В результате использования цифровых технологий, наблюдение за демонстрационным экспериментом позволяет многократно повторно и дистанционно наблюдать явления или процессы, показанные на демонстрации.

В качестве примера представлены результаты фотосъёмок фотолюминесценции различных тел: демонстрационного диска, изготовленного Салецким А.М. и модели Сатурна.

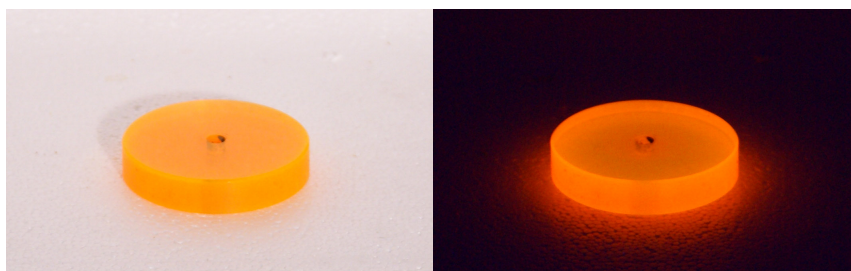


Рис. 18: Флуоресцирующий диск при освещении лампой накаливания (слева) и ультрафиолетовой лампой (справа)



Рис. 19: Фосфоресцирующий объект при освещении лампой накаливания (слева), ультрафиолетовой лампой (в центре) и после выключения ультрафиолетовой лампы (справа)

На фотографиях показано явление фотолюминесценции с возбуждением ультрафиолетовой лампой. Различием люминесценции этих объектов является наличие продолжительного остаточного свечения (фосфоресценции) у модели Сатурна (рис. 19, справа) после выключения источника возбуждения люминесценции. У люминесцирующего диска такое свечение отсутствует.

Таким образом наблюдаются различные виды люминесценции при классификации по времени высвечивания (флуоресценция и фосфоресценция) и один вид излучения при классификации по способу возбуждения (фотолюминесценция).

Примером использования флуоресценции как невидимого способа защиты документов является нанесение люминесцентных красок на некоторые области банкнот. Фотографии с примером такого исполнения показаны на рис. 20.



Рис. 20: Фотография купюры 50 евро в свете лампы накаливания (сверху) и при облучении ультрафиолетовой лампой (снизу)

Также сделаны фотографии других экспериментов, что облегчит их подготовку перед показом на лекциях, даст возможность лекторам просматривать демонстрации при подборе демонстраций к лекциям, позволит другим вузам и школам показывать демонстрации в форме иллюстративных материалов и даст возможность студентам посмотреть демонстрации не только во время лекции, но и до неё и после.

Заключение

1. В результате анализа научно-методической литературы и электронных публикаций по лекционному эксперименту выявлены существующие на сегодняшний день демонстрации по теме «Излучение и поглощение света».
2. Для усиления феноменологической составляющей курса общей физики, облегчения подбора демонстраций для лекций по этому курсу и повышения эффективности методической работы по созданию новых современных демонстрационных экспериментов выдвинута идея о необходимости создания методической системы лекционных демонстраций.

На основании принципов создания методических систем разработана методическая система по теме «Излучение и поглощение света» раздела «Оптика» курса общей физики, включившая в себя описанные в литературе демонстрации.

3. Анализ разработанной системы позволил выявить недостающие демонстрации, которые были частично разработаны. Всего в рамках методологической системы создано 10 новых демонстраций, модифицировано 2 существовавших ранее демонстрации, а так же разработано 42 цифровых иллюстративных материала, в том числе 18 плакатов.

Библиография

1. Аннотированный перечень демонстрационных экспериментов по разделу «Оптика» курса общей физики, составитель Селиверстов А.В..
Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва — 2006.
2. Буров В.А., Зворыкин Б.С., Кузьмин А.П. Демонстрационный эксперимент по физике в старших классах средней школы. т.2. Под ред. Покровского А.А. Изд 2-е. М., «Просвещение», 1972, с. 380—428.
3. Грабовский М.А., Млодзеевский А.Б., Телеснин Р.В. Лекционные демонстрации по физике, под ред. В.И. Ивероновой, изд.2-е, «Наука», 1972.
4. Грабовский М.А., Млодзеевский А.Б., Усагин С.И. Каталог лекционных демонстраций по общему курсу физики, «Издательство Московского университета», 1959, с.131—133.
5. Каменецкий С.Е., Пурышева Н.С., Важеевская Н.Е. и др. Теория и методика обучения физики в школе: Общие вопросы: Учеб. пособие для студентов высш. пед. учеб. заведений / Под ред. Каменецкого С.Е., Пурышовой Н.С. — М., Издательский центр «Академия», 2000. — 386 с.
6. Кроитор Д. Лекционные демонстрации по физике, «Лумина», 1974, с.167—174.
7. Лакович Дж. Основы флуоресцентной спектроскопии. Пер. с англ. — М.: Мир, 1986.— 496 с., ил.
8. Ландсберг Г.С. Оптика, изд. 5-е., «Наука», 1976, с. 682—820.
9. Левшин Л.В., Салцкий А.М. Оптические методы исследования молекулярных систем. Ч.1. Молекулярная спектроскопия. — М.: Изд-во МГУ, 1994. — 320 с.
10. Лебедева В.В. Экспериментальная оптика. — 3-е изд. — М.: Ид-во Моск. ун-та, 1994. — 352 с.
11. Матвеев А.Н. Оптика: Учеб. Пособие для физ. спец. вузов. — М.: Высш.

- шк., 1985. — 351 с.
12. Методика и техника лекционных демонстраций по физике (сборник трудов I межвузовской конференции по лекционным демонстрациям под ред. Ивероновой В.И.), «Издательство Московского университета».
 13. Полевич С.С. Система лекционных демонстраций по теме «Люминесценция», курсовая работа, Москва — 2006.
 14. Селиверстов А.В. Современные лекционные демонстрации по разделу «Волновая оптика» курса общей физики, Дис. канд. пед. наук; 13.00.01; Защищена 08.06.05; Утв. 17.11.05. — М., 2005. — 262 с.
 15. Соколов В.А. Кандолюминесценция, Успехи физических наук, т. XLVII, вып.4, 1952 г., август, с. 537—560.
 16. Физическая энциклопедия, т. 5 / Гл. ред. А.М. Прохоров. Ред. кол.: Д.М. Алексеев, А.М. Балдин, А.М. Бонч-Бруевич и др. — М.: Большая Российская энциклопедия, 1998.—760с.
 17. Sutton R. Demonstration Experiments in Physics / Edited by Richard Manliffe Sutton, prepared under the auspices of the American Association of Physics Teachers. — New York, London, McGraw-Hill company inc., 1938. — 546 с.

Электронные источники

18. Википедия — свободная энциклопедия
URL: <http://www.wikipedia.org/>
19. Виртуальный фонд естественнонаучных и научно-технических эффектов "Эффективная физика"
URL: <http://www.effects.ru/fieldDN0/79.html>
20. Образовательный портал «Открытый Колледж»
URL: <http://www.college.ru/enportal/modelsPhys/index.html>
21. Сервер кафедры общей физики МГУ. Кабинет физических демонстраций
URL: <http://genphys.phys.msu.ru/rus/demo/>
22. Сервер Томского государственного университета. Лаборатория учебного

физического эксперимента

URL: <http://www.demophys.tsu.ru/>

23. Химическая энциклопедия

URL: <http://www.xumuk.ru/encyklopedia/>

24. LabVIEW — The Software That Powers Virtual Instrumentation — Products and Services — National Instruments

URL: <http://www.ni.com/labview/>

25. The Physics Instructional Resource Association (PIRA) web site (сайт Ассоциации физических образовательных ресурсов)

URL: <http://physicslearning.colorado.edu/pira.asp>

Благодарности

Рецензенту Светлане Викторовне Пацаевой за доброжелательное отношение, интерес к разработанным демонстрациям, предоставленные химические реактивы и рецензию дипломной работы.

Куратору Буравцовой Виктории Евгеньевне за отличное настроение, хорошее отношение и поддержку меня и всей 605-ой группы во всех сложных ситуациях.

Рыжикову Сергею Борисовичу за ценные замечания во время предзащиты.

Якуте Алексею Александровичу за консультации во время сложных учебных ситуаций и ценные замечания во время предзащиты.

Грязнову Андрею Юрьевичу за философское мышление и умение добираться до сути.

Шалагину Алексею за фотографии купюры 50 евро.

Гажуру Илье за гамма-коррекцию и всевозможную помощь.

Зав. кафедрой Салецкому Александру Михайловичу за спецкурс по люминесценции и ценные комментарии во время предзащиты.

Зам. зав. кафедрой Слепкову Александру Ивановичу за хорошее руководство, внимание к разработке демонстраций, поддержку при решении сложных вопросов, ценные рекомендации и хорошее отношение.

И в последнюю очередь, но не последнему по значимости — моему научному руководителю Селиверстову Алексею Валентиновичу за умные мысли и красивые формулировки, за постановку задачи и возможность её решать самостоятельно, за важные замечания и рекомендации при написании курсовых и дипломной работ, за моральную поддержку и помощь при реализации многих идей, за консультации на самые различные темы и за доброту.

Приложение. Реставрированные плакаты

При создании системы демонстраций и поиске иллюстративных материалов были найдены плакаты, разработанные и созданные НИИ специально для физического факультета МГУ. Большая часть этих плакатов представляет историческую ценность поскольку они были созданы в 1950-е года и показанные на них результаты экспериментов были существенно усовершенствованы. Тем не менее, плакаты были разработаны квалифицированными специалистами являются хорошим примером оформления демонстрационных работ. Далее приведён список плакатов, с которых были сделаны высококачественные профессиональные фотографии, на которых чётко изображены все детали изображений с плакатов.

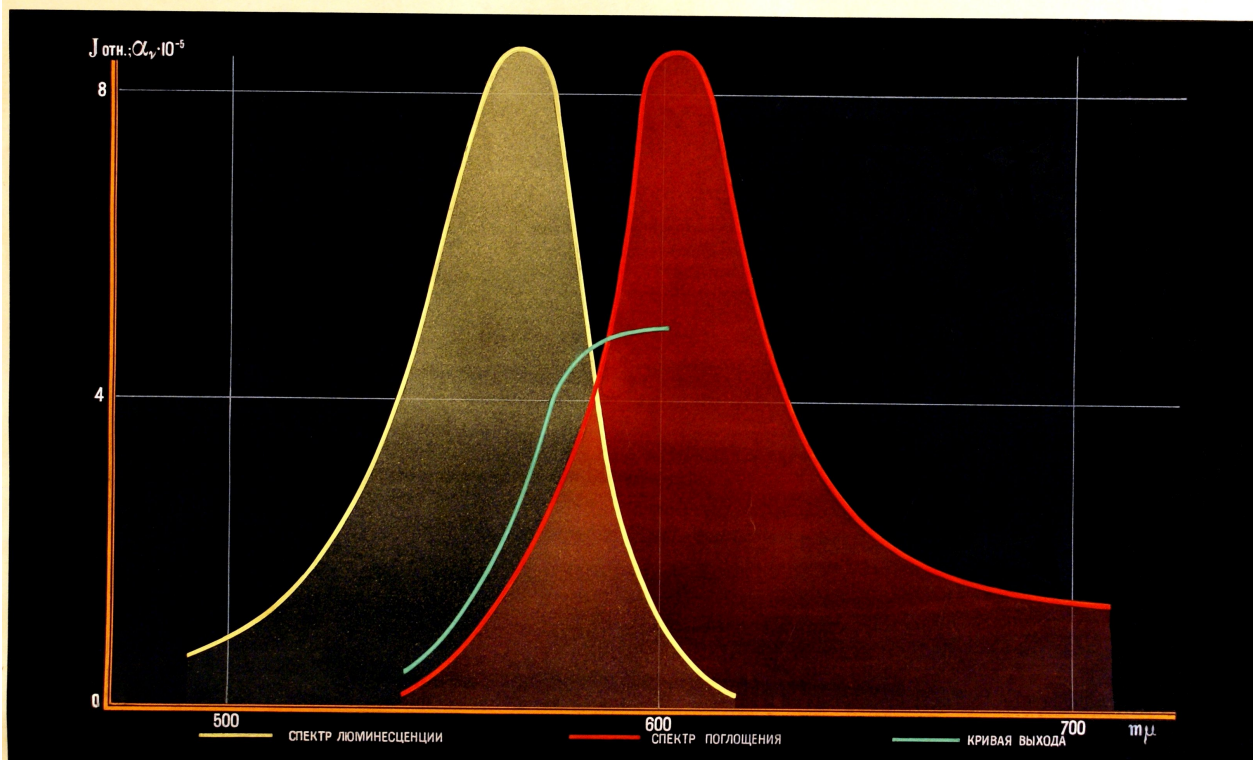
1. Спектры сравнения (Fe, Fe, Cu, Hg, Ne)



2. Полосатый спектр углеродной дуги в воздухе (полосы молекул CN и C₂)

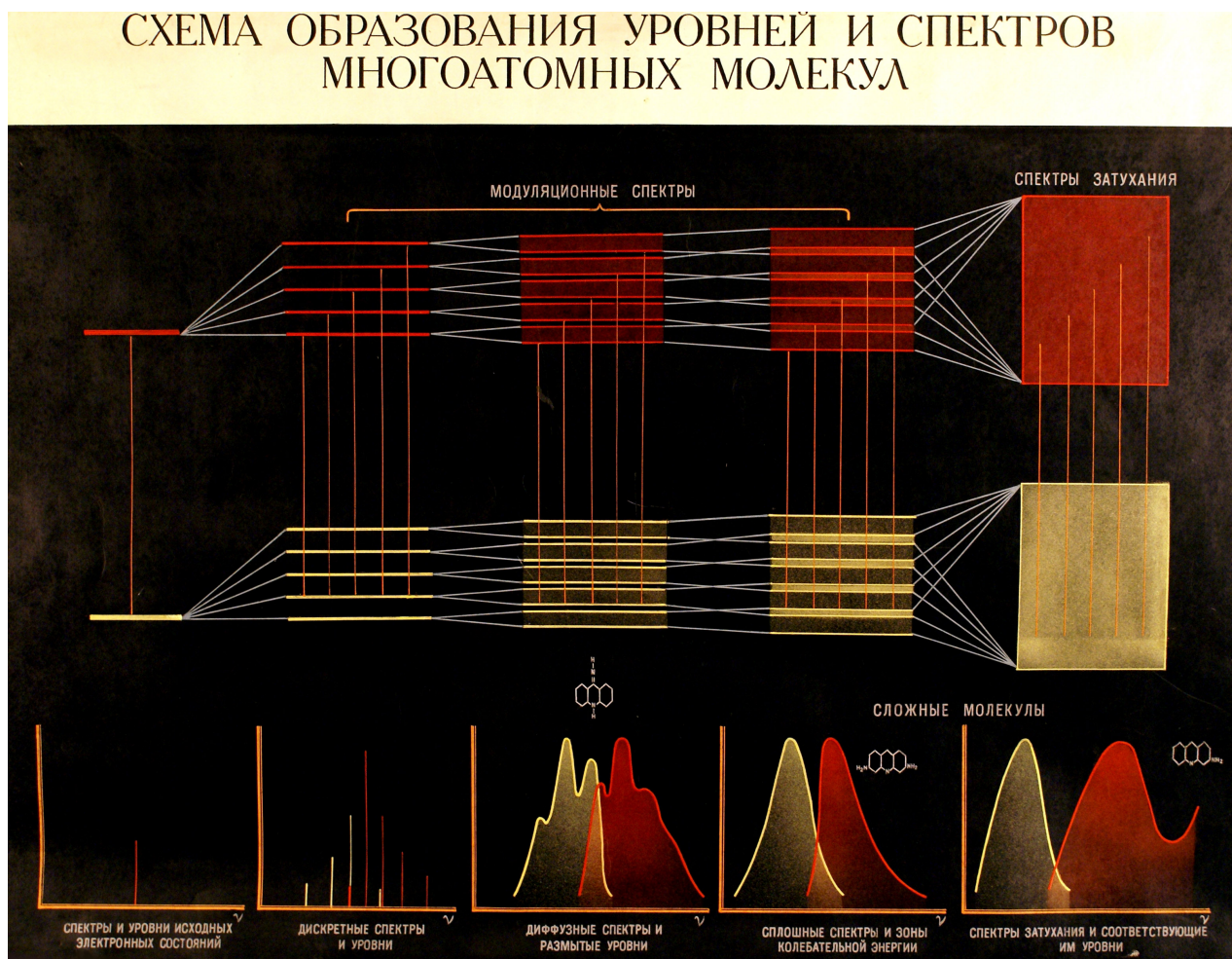
3. Спектры флуоресценции динафталина и нафтиламинов
4. Совпадение формы полосы поглощения различных красителей.
5. Схема фотоэлектрического фосфороскопа
6. Относительное положение спектров поглощения, люминесценции и кривой выхода (Na-флуоресцеин в глицерине)

ОТНОСИТЕЛЬНОЕ ПОЛОЖЕНИЕ СПЕКТРОВ ПОГЛОЩЕНИЯ, ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ И КРИВОЙ ВЫХОДА (Na – ФЛУОРЕСЦЕИН В ГЛИЦЕРИНЕ)



7. Спектр поглощения паров J_2
8. Тушение кислородом флуоресценции паров β -нафтиламина (возбуждение различными длинами волн при $t = 151^\circ\text{C}$)
9. Спектры водорода и гелия
10. Зависимость относительного выхода и относительной длительности свечения от температуры

11.Схема образования уровней и спектров многоатомных молекул



12.Тонкая структура основной полосы поглощения HCl в близкой инфракрасной области

13.Закон зеркальной симметрии (условие симметрии частот)

14.Ход концентрационного тушения флуоресцеина

15.Зависимость относительного выхода от температуры и вязкости (растворы различных красителей)

16.Тушение флуоресценции растворов посторонними примесями

17.Взаимное расположение спектров поглощения, излучения и кривых концентрационного тушения

18.Спектры флуоресценции простых ароматических соединений (температура 20,4 K)