

Модернизация физических демонстрационных экспериментов с использованием современных источников света

А. В. Селиверстов*

*Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
физический факультет, кафедра общей физики
Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2
(Статья поступила 25.04.2016; Подписана в печать 05.05.2016)*

Сформулированы условия модернизации демонстрационного оборудования. Выделены основные характеристики источников света, используемых в демонстрационном эксперименте, и приведены примеры модернизации таких источников на основе современной элементной базы.

PACS: 01.50.Му УДК: 53.07

Ключевые слова: демонстрационный эксперимент, источники света.

ВВЕДЕНИЕ

Элементная база многих демонстрационных экспериментов формировалась в 40–70-е гг. XX века [1]. И если электронные компоненты, например, сильно изменились в той части, которая обеспечивает потребности экспериментальной установки (а не демонстрирует непосредственно явление) — источники питания, усилители, генераторы и т.п. — то механические, электрические, оптические составляющие более консервативны: зачастую используются те же устройства и приспособления, что и 50 лет назад. К плюсам этого можно безусловно отнести сохранение проверенных временем, методически выверенных демонстраций. Однако минусов гораздо больше.

Во-первых, некоторые элементы устарели и более не производятся. Это означает невозможность замены выходящих из строя приборов или её неоправданную дороговизну.

Во-вторых, в результате научно-технического прогресса появились новые устройства. Как правило, они обладают более широким кругом возможностей, нежели традиционные, имеют лучшие эксплуатационные характеристики.

В-третьих, с момента создания многих демонстраций педагогические технологии, в том числе информационные, сделали огромный шаг вперёд. Отчасти это обусловлено возможностью использования новых технических решений (мультимедийные проекторы, видео и веб-камеры), а отчасти — педагогической необходимостью. Изменившаяся аудитория высшей школы требует новых дидактических подходов, увеличивая роль наглядности, связи с практикой — а этого часто невозможно добиться, используя классическое оборудование.

Таким образом, до сих пор актуальной является задача модернизации элементной базы физического кабинета. Рассмотрим ту её часть, которая связана с ис-

точниками света, ведь они не ограничены оптическим разделом, но используются во всей практике физического кабинета: для проекции экспериментов, освещения установок, в том числе и стробоскопического.

1. КРИТЕРИИ МОДЕРНИЗАЦИИ

Источник света, как правило, является одним из элементов экспериментальной установки. Вместе с остальными элементами он должен обеспечить ряд дидактических требований, предъявляемых к учебному эксперименту (наглядность, выразительность, видимость, надёжность, безопасность, эстетичность, эргономичность, экономичность и т.п.) [2]. Модернизацию необходимо проводить с учётом этих требований:

- основные характеристики источников не должны ухудшаться;
- новые решения должны быть легко тиражируемы и иметь стандартизованные характеристики для постепенного перехода на модульное построение демонстрационных установок;
- стоимость модернизации не должна превышать стоимость ремонта;
- долговечность источника должна расти, а стоимость его эксплуатации — снижаться;
- желательно повышение универсальности источника.

2. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

С точки зрения использования источников света в демонстрационном эксперименте можно выделить следующие основные их характеристики:

1. *Световой поток*, создаваемый источником. Определяет яркость изображения, видимого

*E-mail: panopticum@physics.msu.ru

аудиторией, максимальный комфортно наблюдаемый размер этого изображения и т.п.

2. *Спектральный состав* излучения источника (монохроматический, линейчатый, сплошной) и характеризующие его величины (набор отдельных длин волн или их диапазонов). Эти параметры определяют условия применимости того или иного источника в специфических оптических экспериментах (по интерференции, дифракции, поляризации света, по наблюдению спектров и т.п.).
3. У источников белого света, используемых для проекции, существенным параметром является *цветовая температура*. Не влияя существенно на объективные характеристики изображений, она определяет комфортность восприятия изображения аудиторией: тёплые (цветовая температура до 3300 К) и нейтральные (от 3300 К до 5000 К) белые оттенки вызывают меньший психологический дискомфорт и искажения цветности, чем холодные (свыше 5000 К).
4. *Размер излучающей области* (точечный или протяжённый источник). Этот параметр важен как при теневой проекции, так и в чисто оптических экспериментах.
5. *Диаграмма направленности* излучения. Согласованность диаграммы направленности с параметрами оптической системы позволяет более эффективно использовать световой поток от источника.

3. НАПРАВЛЕНИЯ МОДЕРНИЗАЦИИ

До настоящего время для проекции использовались мощные проекционные лампы накаливания с компактной нитью накала, в т.ч. галогенные (проекционные фонари, кодоскопы, диапроекторы), а для теневой проекции и наблюдения спектров — электрическая дуга или ртутные дуговые лампы сверхвысокого давления. Все эти источники сильно нагреваются при работе, что делает их эксплуатацию небезопасной — в частности потому, что тепловое излучение разогревает демонстрируемые образцы. Ресурс таких ламп невелик (сотни часов), они дороги, далеко не всегда бывают в продаже. Дуговой фонарь требует расходных материалов, потребляет высокий ток и питается от постоянного напряжения, поэтому его работу невозможно обеспечить в обычной аудитории. Ртутные лампы сняты с производства в России, а после 2020 г. они будут запрещены на международном уровне согласно Минаматской конвенции по ртути. Возможная замена этим источникам — мощные светодиодные прожекторы: устройство мощностью 30 Вт излучает световой поток порядка 2500 лм, что, с учётом направленности излучения,

конкурирует по яркости создаваемого изображения с кодоскопом; однако во втором случае требуется галогеновая лампа мощности 400 Вт с потоком около 15000 лм, имеющая временной ресурс работы почти в сто раз меньше при сравнимой стоимости. Кроме того, снижение тепловыделения даёт возможность использовать в качестве конденсоров линзы Френеля, а это уменьшает вес и габариты осветительного прибора.

Для демонстрации сплошного видимого спектра перспективным представляется применение сверхъярких светодиодных фонарей, дающих световой поток до 2000 лм. Небольшая излучающая область позволяет использовать их с минимальными переделками (заменной коллимирующей линзы). Линейчатые спектры, ранее показывавшиеся с помощью ртутной лампы, можно демонстрировать с использованием натриевых ламп высокого давления, которые получили широкое распространение в последнее время из-за их использования в комнатном растениеводстве.

Эти же лампы позволяют получить излучение, большая часть энергии которого расположена в узком спектральном диапазоне, вблизи уширенного жёлтого дублета. Во многих случаях такой свет можно считать монохроматическим. Хотя по длине когерентности этот источник проигрывает лазерам, однако по световому потоку (около 6000 лм для лампы мощностью 70 Вт) он оставляет далеко позади любую лазерную указку (например, зелёный лазер мощностью 50 мВт даёт поток примерно 40 лм). Кроме того, из-за направленности излучения лазер требует соблюдения гораздо более жёстких норм безопасности.

Современные технологии видеопроекции дают возможность использовать для экспериментов и гораздо более слабые источники. Так, люминесцентные лампы позволяют наблюдать интерференционные картины от бихроматического источника с характерными смазываниями контраста.

Демонстрация люминесценции обычно требует излучения ближнего ультрафиолетового диапазона. Появление бытовых образцов лампы Вуда (“лампы чёрного света”) упростило эти эксперименты: само стекло лампы играет роль фильтра, задерживающего практически весь свет видимого диапазона. Однако светодиодные фонари, излучающие на длине волны 395 нм, упрощают их ещё сильнее за счёт мобильности источника света.

Использование светодиодов также даёт возможность реализовать стробоскопическое освещение протяжённых объектов. Основная проблема при этом заключается в низкой яркости стробоскопических фонарей, приводящей к слабой или неоднородной освещённости наблюдаемых предметов. Заменяя стробоскоп на светодиодную ленту, питаемую от генератора импульсов, можно существенно снизить неоднородность подсветки.

У светодиодных настольных ламп есть и ещё одно применение: они подходят для восстановления голограмм Денисюка, поскольку имеют малые размеры и

широкий спектр. Это существенно улучшает резкость получаемого изображения (по сравнению с традиционно используемыми компактными галогеновыми лампами накаливания).

Таким образом, можно говорить о возможности системной модернизации источников света для лекционных демонстраций по физике на основе использования широко распространённых приборов и устройств.

-
- [1] *Грабовский М. А., Млодзеевский А. Б., Телеснин Р. В.* и др. Лекционные демонстрации по физике. / Под ред. Ивероновой В.И. (М.: Наука, 1972).
[2] *Наумчик В. Н., Саржевский А. М.* Наглядность в демон-

страционном эксперименте по физике (эргономический подход). (Минск: Изд-во БГУ. 1983).

Modernization of physics demonstrations using new light sources

A. V. Seliverstov

*Department of General Physics, Faculty of Physics,
M.V.Lomonosov Moscow State University, Moscow 119991, Russia
E-mail: panopticum@physics.msu.ru*

The circumstances of demonstration equipment modernization had been formulated. The key features of light sources for demonstration experiments had been distinguished. Some illustrations of their modernization using up-to-date components are given.

PACS: 01.50.My

Keywords: demonstration experiment, light sources.

Received 25.04.2016.

Сведения об авторе:

Селиверстов Алексей Валентинович — канд. пед. наук, ст. преподаватель; тел.: (495) 939-14-89,
e-mail: panopticum@physics.msu.ru.