



СОДЕРЖАНИЕ

Основная школа

В. В. Майер Е. И. Вараксина	СТРОБОСКОПИЧЕСКИЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ПРЯМОЛИНЕЙНОГО ДВИЖЕНИЯ 3
--------------------------------	---

Старшая школа

И. Д. Бородин А. В. Попова Ф. А. Сидоренко	ШАРИК НА МАГНИТОСТРИКЦИОННОМ ВИБРАТОРЕ 11
В. В. Майер Е. И. Вараксина И. А. Васильев Ю. А. Корнев	РЕМОНТ ШКОЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОФОРНОЙ МАШИНЫ КАК СРЕДСТВО РАЗВИТИЯ ИНЖЕНЕРНОЙ КОМПЕТЕНЦИИ 14

Высшая школа

С. М. Кокин С. Г. Стоюхин С. В. Мухин	ПОСТАНОВКА ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ «ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЛЯРНОЙ МАССЫ ВОЗДУХА» ... 38
---	---

А. Р. Аржаник С. Г. Катаев А. В. Штак	ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ УЧЕБНОЙ РЕНТГЕНОВСКОЙ УСТАНОВКИ В ФИЗИЧЕСКОМ ПРАКТИКУМЕ И МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫХ КУРСАХ .. 45
---	---

Науковедение

Ю. А. Сауров М. П. Уварова	О СТРУКТУРНЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЯХ ФИЗИЧЕСКОГО МЫШЛЕНИЯ В ОБУЧЕНИИ.....55
-------------------------------	--

АВТОРЫ ЖУРНАЛА	63
----------------------	----

ABSTRACTS	64
-----------------	----

Редакция журнала:

В. В. Майер (главный редактор), Р. В. Акатов, Е. И. Вараксина, Л. С. Кропачева

Редакционный совет:

И. В. Гребенев	д.п.н., профессор, Нижний Новгород
М. Д. Даммер	д.п.н., профессор, Челябинск
П. В. Зуев	д.п.н., профессор, Екатеринбург
Ю. А. Сауров	д.п.н., профессор, член-корр. РАО, Киров

Оргкомитет конференции:

Н. Я. Молотков	д.п.н., профессор, Тамбов
Г. Г. Никифоров	к.п.н., доцент, ИСРО РАО, Москва
А. Ю. Пентин	к.ф.-м.н., доцент, ИСРО РАО, Москва
Ф. А. Сидоренко	д.ф.-м.н., профессор, Екатеринбург
Я. А. Чиговская-Назарова	к.филол.н., доцент, ректор ГГПИ, Глазов
Т. Н. Шамало	д.п.н., профессор, Екатеринбург

Адрес редакции, издателя и типографии: 427621, Удмуртия, Глазов, Первомайская, 25, Педагогический институт, Телефон: (341 41) 5-32-29.

E-mail: kropa@bk.ru

Учредитель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Глазовский государственный педагогический институт имени В. Г. Короленко»

Журнал «Учебная физика» зарегистрирован Комитетом Российской Федерации по печати 4 февраля 1997 года, регистрационный № 015686, перерегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор) 2 мая 2017 года, ПИ № ФС77-69506.

Использование и перепечатка материалов допускаются только по договоренности с редакцией журнала.

Сдано в набор 19.06.23. Подписано в печать 26.06.23. Дата выхода в свет: 27.06.23. Формат 60 × 90 1/16. Усл. печ. л. 4,0.

Заказ 158. Тираж 200 экз. Цена свободная.

Первая страница обложки: Кольца Ньютона в красном и зеленом свете.

УДК 372.853

А. Р. Аржаник, С. Г. Катаев, А. В. Штак
ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ УЧЕБНОЙ
РЕНТГЕНОВСКОЙ УСТАНОВКИ В ФИЗИЧЕСКОМ
ПРАКТИКУМЕ И МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫХ КУРСАХ

Представлен опыт использования учебной рентгеновской установки в физическом практикуме и для демонстраций свойств рентгеновского излучения для студентов педагогических университетов.

Ключевые слова: рентгеновское излучение, физический практикум, демонстрационный эксперимент.

1. Введение

Рентгеновское излучение, открытое В.К. Рентгеном в 1895 г., представляет собой электромагнитные волны с длиной волны от 10^2 до 10^{-3} нм. Излучение этого диапазона обладает большой проникающей способностью и по этой причине широко используется на практике не только традиционно, в медицине, но и в других областях в качестве одного из основных методов неразрушающего контроля.

Лабораторным источником рентгеновского излучения является рентгеновская трубка, причем возможно наблюдение и характеристического излучения материала, из которого изготовлен анод.

Благодаря проекту финансирования педагогических вузов и создания на их базе технопарков, во многие педагогические вузы России поступили немецкие экспериментальные установки *RHUYWE X-RAY 4.0*.

Данные установки предназначены для проведения лабораторных исследований, работ по изучению свойств рентгеновских лучей, физике твердого тела, атомной физике и квантовой физике в общеобразовательных школах и вузах, и полностью отвечают всем требованиям безопасности. Данный комплект можно использовать в лабораторном практикуме, при проведении лекционных демонстраций, как в курсе физики, так и

при чтении интегрированных курсов, в частности, курса «Естественнонаучная картина мира», а также реализовывать *on-line* трансляции по заказу из любой точки страны.

2. Описание установки

Рентгеновская установка *PHYWE X-RAY 4.0* поставляется, как правило, в комплекте с тремя рентгеновскими трубками с анодом из Cu , Mo и W соответственно, но также есть возможность доукомплектовать набор еще и трубкой с железным анодом. Установка оснащена защитным корпусом, который надежно обеспечивает защиту от генерируемого рентгеновского излучения. Корпус имеет прозрачную дверцу, не пропускающую рентгеновское излучение и оснащенную защитной блокировкой. Проведенное авторами тестовое исследование показало, что уровень радиации вблизи установки не превышает текущий уровень фона в учебном корпусе, а наличие в помещении вытяжки обеспечивает снижение этого уровня в 2–3 раза. Установкой можно управлять как напрямую, так и через программу на компьютере. Внешний вид установки и панель управления представлены на рис. 1.



Рис. 1. Рентгеновская установка *PHYWE X-RAY 4.0*: 1 — внешний вид установки; 2 — внешний вид встроенной панели управления

Для полноценной работы установка дополнительно снабжена гониометром, счетчиком Гейгера, ноутбуком с программным обеспечением, а также набором препаратов и материалов для рентгенографии и рентгеноскопии.

На данный момент на этой установке возможно проведение более 35 различных работ, относящихся к квантовой оптике, атомной и ядерной физике. В данных работах можно наблюдать не только качественные эффекты, например, получение теневого изображения объекта на флуоресцентном экране в зависимости от напряжения и силы тока в трубке (рис. 2), но и количественно рассчитать ту или иную величину, с использованием компьютера, в частности, экспериментально проверить закон Вульфа–Брэгга.

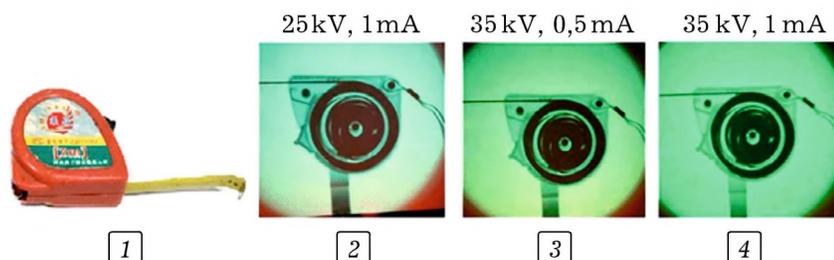


Рис. 2. Теневое изображение объекта (стандартная рулетка) на флуоресцентном экране в зависимости от напряжения и силы тока в трубке

Наличие в комплекте работ по основам цифровой рентгенографии и компьютерной томографии, принципам разрешения и обнаружения делают возможным применять данную установку в междисциплинарных курсах. В настоящее время работы по рентгеноскопии, рентгенографическому исследованию объектов, изучению свойств характеристического излучения заняли свое место в физическом практикуме для студентов физико–математического факультета ТГПУ. В дальнейшем на этом оборудовании планируется проведение не только учебных, но и научных экспериментов.

3. Изучение характеристического излучения

Рентгеновская трубка позволяет генерировать рентгеновское излучение с непрерывным распределением энергии в результате столкновения высокоэнергетических электронов, вылетающих из катода, с металлическим анодом (тормозное излучение). На спектр тормозного излучения накладываются дискретные линии. Если атом материала анода ионизируется на K -оболочке после электронного удара, то электрон с более высокой оболочки может занять свободное место, испуская квант

рентгеновского излучения [1]. Энергия этого рентгеновского кванта соответствует разности энергий двух оболочек, участвующих в этом процессе. Поскольку эта разность энергий зависит от атома, результирующее излучение также называют характеристическим излучением. Характеристическое излучение, возникающее при переходе от оболочки L к оболочке K , называется K_{α} , а излучение, возникающее при переходе от оболочки M к оболочке K , называется K_{β} . (Переходы $M_1 \rightarrow K$, $L_1 \rightarrow K$ не разрешены из-за квантово-механических правил отбора: $\Delta L = \pm 1, \Delta J = 0, \pm 1$; где L — орбитальный угловой момент, J — полный угловой момент). На рис. 3 приведены схемы расположения энергетических уровней атомов меди и молибдена [2].

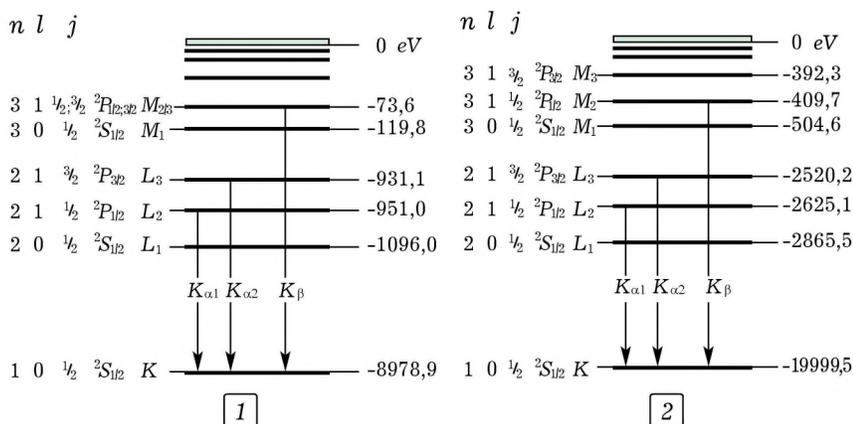


Рис. 3. Характеристические рентгеновские линии меди (1) и молибдена (2). Информация взята из «Handbook of Chemistry and Physics», CRC Press Inc., Florida, 2010

Для анализа полихроматического спектра можно использовать явление дифракции рентгеновского излучения на плоскостях кристаллической решетки. При попадании рентгеновских лучей с длиной волны λ на плоскость решетки под углом скольжения θ лучи, отраженные от плоскости решетки, интерферируют друг с другом. При этом максимум n -го порядка в соответствии с законом Вульфа-Брэгга будет наблюдаться в том случае, когда разность хода Δ (рис. 4) равна целому числу длин волн:

$$2d \sin \theta = n\lambda, \quad n = 1, 2, 3, \dots, \quad (1)$$

где d — расстояние между атомными плоскостями кристал-

ла, λ — длина волны рентгеновского излучения. Из формулы Вульфа–Брэгга (1) следует, что, зная межплоскостное расстояние d и экспериментально определив углы θ , можно рассчитать длину волны, соответствующую этим максимумам, и наоборот. Энергия рентгеновского излучения связана с длиной волны следующим соотношением:

$$E = \frac{hc}{\lambda}. \quad (2)$$

Подставляя (1) в (2), получим

$$E = \frac{nhc}{2d \cdot \sin \theta}, \quad (3)$$

где $h = 6,6256 \cdot 10^{-34}$ Дж·с — постоянная Планка, $c = 2,9979 \cdot 10^8$ м/с — скорость света в вакууме. Таким образом, используя различные сочетания материалов анода (Cu, Mo и W) и кристаллов-анализаторов (LiF, KBr), можно проводить систематическое изучение характеристических линий и наблюдать разные порядки дифракции, учитывая, что межплоскостное расстояние кристалла KBr ($d = 3,290 \cdot 10^{-10}$ м) больше, чем у кристалла LiF ($d = 2,014 \cdot 10^{-10}$ м).

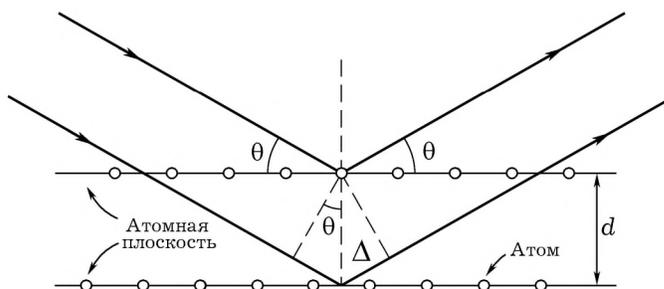


Рис. 4. Брэгговское рассеяние на атомных плоскостях решетки

4. Ход работы

Устанавливаем монокристалл (LiF или KBr), счетчик Гейгера–Мюллера, диафрагму и перегородку (рис.5). Закрываем установку и вводим параметры на компьютере, для каждого монокристалла они разные. Начальный и конечный угол —

$4^\circ \div 55^\circ$ для LiF, $3^\circ \div 75^\circ$ для KBr (медная трубка), $4^\circ \div 65^\circ$ для LiF, $3^\circ \div 30^\circ$ для KBr (молибденовая трубка). Шаг измерения $0,1^\circ$, время измерения 2 с.

Далее, нажимаем на кнопку «калибровать» и после окончания автоматической калибровки запускаем измерения, установка считает все автоматически. После, открываем дверцу установки, меняем кристалл и проделываем аналогичные действия, но уже с другим кристаллом.

Время проведения одного эксперимента занимает 17 минут для LiF и 24 минуты для KBr на медной трубке, а также 21 минуту для LiF и 9 минут для KBr на молибденовой трубке.



Рис. 5. Элементы установки для проведения измерений: 1 — диафрагма, 2 — монокристалл, 3 — диафрагма, 4 — счетчик Гейгера. Элементы 2, 3, 4 установлены на гониометре

Далее, анализируем кривую, график которой автоматически выводится на экране после измерения, и обрабатываем полученные результаты.

5. Результаты для медной рентгеновской трубки

Зависимость числа импульсов от угла скольжения с использованием кристаллов LiF или KBr представлены в виде снимка с экрана компьютера на рис. 6.

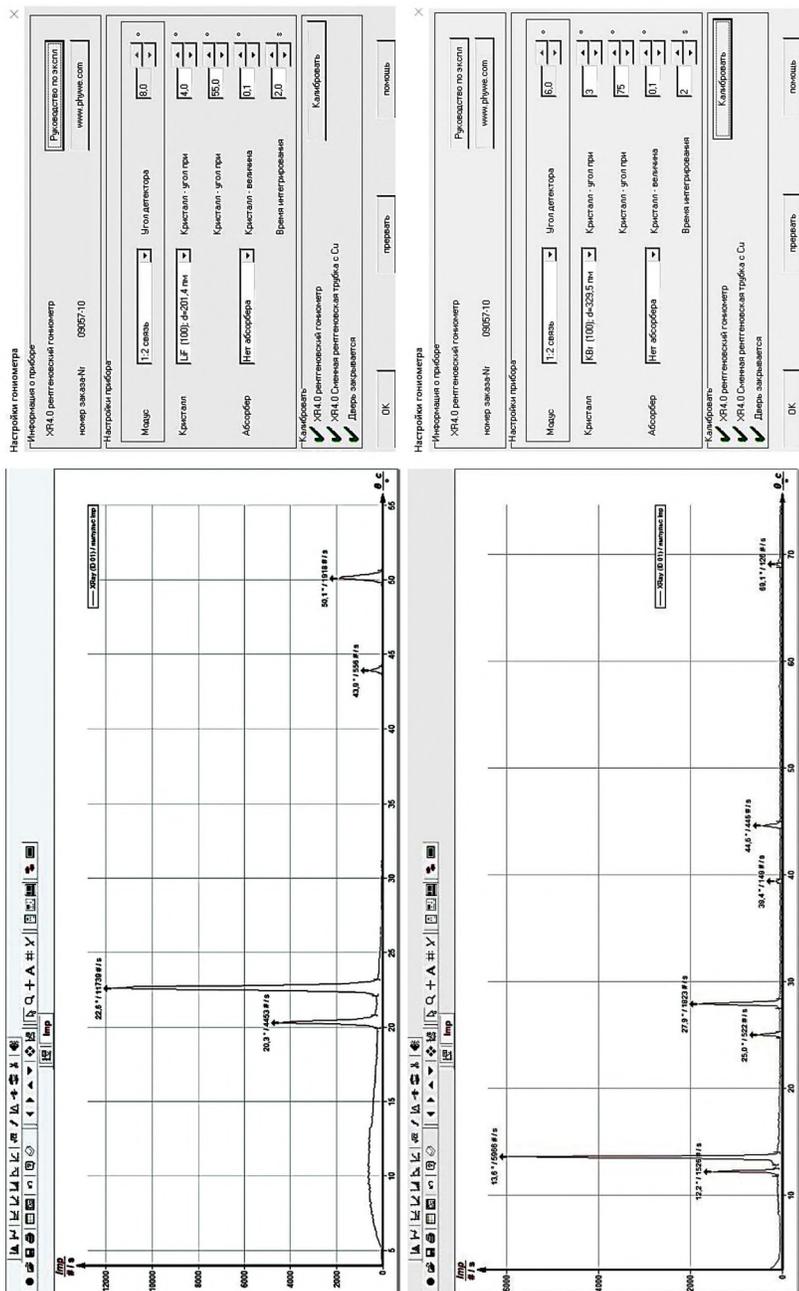


Рис. 6. Снимок с экрана компьютера после измерений с медным анодом. Зависимость количества импульсов, фиксируемых датчиком, от угла скольжения. Верхний фрагмент – кристалл LiF, нижний фрагмент – кристалл KBr

Для углов, соответствующих максимумам числа импульсов, по формуле (3) вычислены значения энергий. В табл. 1 представлены результаты измерений для первых двух максимумов кристалла LiF и первых четырех максимумов кристалла KBr.

Таблица 1

LiF	$\theta, ^\circ$	Линия	$E_{\text{эксп}}, \text{кэВ}$
$n = 1$	22,6	K_α	8,009
	20,3	K_β	8,873
$n = 2$	50,1	K_α	8,024
	43,9	K_β	8,878
KBr	$\theta, ^\circ$	Линия	$E_{\text{эксп}}, \text{кэВ}$
$n = 1$	13,6	K_α	8,013
	12,2	K_β	8,916
$n = 2$	27,9	K_α	8,053
	25,0	K_β	8,917
$n = 3$	44,6	K_α	8,050
	39,4	K_β	8,906
$n = 4$	69,1	K_α	8,068
	57,6	K_β	8,926

Монокристалл KBr отличается от монокристалла LiF межплоскостным расстоянием, у KBr оно больше. Именно из-за этого мы можем наблюдать интерференцию вплоть до 4-го порядка. Важно добавить, что при изменении анодного напряжения углы скольжения остаются неизменными. Этот факт говорит о том, что найденные значения в действительности являются характеристическими рентгеновскими линиями меди.

Полученные экспериментальные значения длин волн для каждого излучения, в частности, для K_α — 1,5427 Å, для K_β — 1,3926 Å, соответствуют табличным значениям, равным 1,5418 Å и 1,3921 Å, полученным из анализа данных, приведенных на рис. 3.

6. Результаты для молибденовой рентгеновской трубки

На рис. 7 представлена в виде снимка с экрана компьютера зависимость числа импульсов от угла скольжения с использованием кристаллов LiF или KBr.

В табл. 2 представлены результаты измерений для первых четырех максимумов кристалла LiF и первых четырех максимумов кристалла KBr.

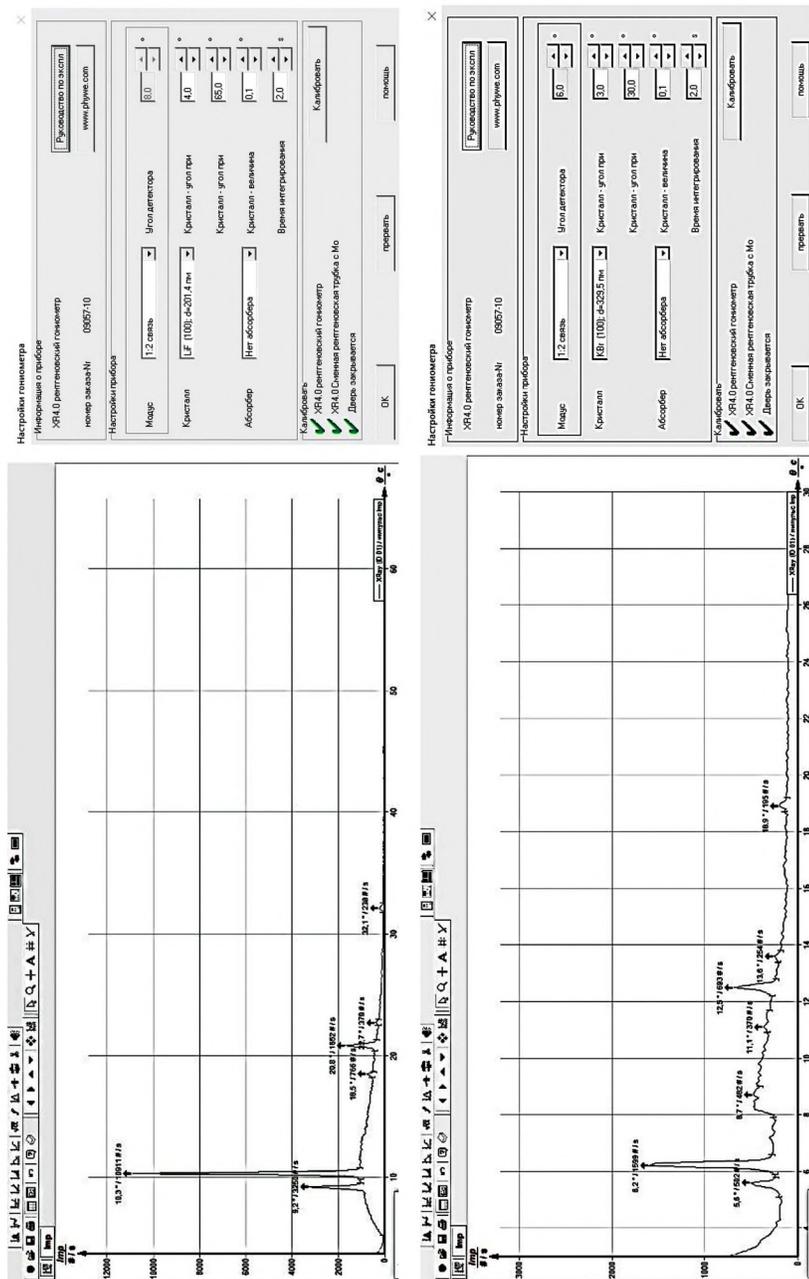


Рис. 7. Снимок с экрана компьютера после измерений с молибденовым анодом. Зависимость количества импульсов, фиксируемых датчиком, от угла скольжения. Верхний фрагмент – кристалл LiF, нижний фрагмент – кристалл KBr

Таблица 2

LiF	$\theta, ^\circ$	Линия	$E_{\text{эксп}}, \text{кэВ}$
$n = 1$	10,3	K_α	17,214
	9,2	K_β	19,251
$n = 2$	20,8	K_α	17,335
	18,5	K_β	19,401
$n = 3$	32,1	K_α	17,337
	28,4	K_β	19,414
$n = 4$	45,0	K_α	17,412
КВг	$\theta, ^\circ$	Линия	$E_{\text{эксп}}, \text{кэВ}$
$n = 1$	6,2	K_α	17,446
	5,6	K_β	19,309
$n = 2$	12,5	K_α	17,411
	11,1	K_β	19,574
$n = 3$	18,9	K_α	17,451
$n = 4$	25,6	K_β	17,443

Сделав аналогичные вычисления, получаем значения длин волн $0,7134 \text{ \AA}$ и $0,6392 \text{ \AA}$ для K_α и K_β соответственно. Эти значения оказываются достаточно близки к значениям соответствующих длин волн $0,7109 \text{ \AA}$ и $0,6329 \text{ \AA}$, полученных при анализе данных из рис. 3.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что данная установка вместе с программным обеспечением может быть использована для проведения не только студенческих лабораторных работ, но и научных исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рентгенография металлов и сплавов : Учебное пособие / Е. В. Кузнецова, О. А. Косинова, И. А. Коваленко, И. А. Цыганов. — Липецк : Изд-во ЛГТУ, 2019. — 186 с.
2. CRC Handbook of Chemistry and Physics.
URL : <http://webdelprofesor.ula.ve/ciencias/isolda/libros/handbook.pdf>

Томский государственный
педагогический университет;
Томский государственный
университет

Поступила в редакцию 28.03.23.

ABSTRACTS

Mayer V. V., Varaksina E. I. Stroboscopic method of investigation of rectilinear motion. It is proposed to use the method of stroboscopic photographing for the educational study of rectilinear motion. The basis of the installation is a straight chute with magnetic rails and a trolley with a magnetic suspension taken from the well-known set of «Mechanics». A self-luminous strobe light is fixed on the trolley, the rectilinear movement of which students photograph with digital cameras of tablets or smartphones. *Keywords:* chute with magnetic rails, maglev trolley, self-luminous strobe light, digital camera.

Borodin I. D., Popova A. V., Sidorenko F. A. A ball on a magnetostrictive vibrator. An educational study of the behavior of a steel ball located at the end of a vertical ferrite rod carrying out magnetostrictive vibrations under the influence of a high-frequency field of the coil has been implemented. At the same time, it is possible to observe random bounces of the ball to heights up to tens of centimeters. These observations introduce students to the physics of the impact of the ball on the rod and the phenomenon of magnetostriction. *Keywords:* magnetostrictive vibrator, ferrite rod, frequency 14.75 kHz, steel ball.

Mayer V. V., Varaksina E. I., Vasiliev I. A., Kornev Yu. A. Repair of a school electrophoretic machine as a means of developing engineering competence. The technology of repair of a school electrophoretic machine aimed at the development of engineering competence in the study of physics in secondary and higher pedagogical schools is considered. *Keywords:* engineering competence, development, electrophoretic machine, repair.

Kokin S. M., Stouykhin S. G., Mukhin S. V. Setting up laboratory work «Determination of the molar mass of air». The paper describes the work for a student laboratory workshop on physics of «molar mass of air». The work can be attributed to the branches «Molecular physics» and «Vibrations and waves». The installation was created at the Department of «Physics» of RUT (MIIT). *Keywords:* laboratory work, molar mass of air, ideal gas, Lissajous figures.

Arzhanik A. R., Kataev S. G., Shtak A. V. Prospects for application of the training X-ray installation in physical workshop and interdisciplinary courses. The experience of using an educational X-ray installation in a physics workshop and for demonstrating the properties of X-ray radiation for students of pedagogical universities is presented. *Keywords:* X-ray radiation, physical workshop, demonstration experiment.

Saurov Yu. A., Uvarova M. P. On structural representations of physical thinking in learning. Physical thinking is a complex structural formation of intellectual processes. Depending on the specifics of the subject activity, its structure and content can be refined and technologically presented in the form of certain components. Therefore, for the practice of teaching physics, it is so important to identify the components of physical thinking, in fact, «learning outcomes», and on this basis to build methods for the formation (assignment) of thinking as a «kind of experience». *Keywords:* methodology of activity, physical thinking, theoretical generalizations, structures of thinking, orientations of educational activity.