

$$R_M = \sum_{k=0}^N \left(y_k - \sum_{m=0}^M \hat{a}_m q_m(x_k) \right)^2 = NS_y^2 - \sum_{m=0}^M \hat{a}_m^2 = R_{M-1} - \hat{a}_M^2, \quad (8)$$

может служить критерием, позволяющим определить, сколько слагаемых в разложении следует оставить.

В докладе рассматриваются конкретные примеры применения изложенной модификации метода наименьших квадратов для традиционных лабораторных работ курса общей физики.

1. Изучение цепей переменного тока.

Анализируется степень гармоничности полученных зависимостей силы тока и напряжения. Рассчитывается величина сдвига фаз между этими величинами.

2. Изучение поляризации света.

Анализируется справедливость закона Малюса. Рассчитываются параметры зависимости интенсивности света от угла поворота анализатора

$$I = I_0 + I_1 \cos^2(\alpha - \alpha_0). \quad (9)$$

Рассчитываются параметры зависимости интенсивности света от угла поворота кристаллической пластинки

$$I = I_0 + I_1 \sin^2 2(\alpha - \alpha_0). \quad (10)$$

3. Изучение равномерного и равноускоренного движений.

Анализируются условия применимости указанных моделей движения, рассчитываются их кинематические характеристики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Худсон, Д. Статистика для физиков / Д. Худсон. – Москва : Мир, 1970. – 296 с.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ В ЛАБОРАТОРНОМ ФИЗИЧЕСКОМ ПРАКТИКУМЕ

Н. П. Юркевич, Г. К. Савчук

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

Целью данной работы является адаптация и использование компьютерного моделирования кристаллического строения твердых тел для обучения студентов инженерно-строительного профиля на занятиях лабораторного физического практикума.

Использование и разработка приложений компьютерного моделирования физических процессов является актуальной задачей процесса обучения студентов инженерно-технического профиля [1–4]. Данную задачу можно решить в рамках лабораторного физического практикума, как, например, реализовано в [5–7]. Использование приложений направлено на то, чтобы будущий специалист приобретал навыки исследовательской работы и компетентно решал про-

фессиональные задачи, связанные с определением качества сырья, свойств и состава цемента, песка, полимеров, резины, горных пород, древесины [8], состава в сложной пробе, характера изменения свойств материалов в зависимости от их структурных параметров, химического состава, условий получения [9] и пр. В совокупности с курсом практических занятий [10, 11] такая подготовка специалиста будет наиболее комплексной и эффективной.

Для анализа особенностей кристаллической структуры, химического состава твердых тел могут быть использованы методы рентгеноструктурного и рентгенофазового анализов [1, 2, 6, 9, 12]. Для специальностей строительного профиля предлагается компьютерная лабораторная работа по изучению взаимосвязи физических свойств песка с особенностями кристаллического строения элементарной ячейки на основе моделирующей программы профессионального уровня для научных исследований.

Песок представляет собой двуокись кремния SiO_2 и существует в десяти кристаллографических модификациях, каждая из которых обладает своими физико-химическими свойствами. Для изучения в лабораторном физическом практикуме были использованы данные по кристаллическим структурам песка, имеющего кубическую (β -кristобалит) (таблица 1) и тетрагональную (стишовит) (таблица 2) сингонии, для которых характерны примитивная, объемноцентрированная и гранецентрированная элементарные ячейки.

Таблица 1 – Характеристики примитивной кубической элементарной кристаллической ячейки β -кristобалита

№ п/п	Атом	Валентность A	Заселенность m	Тепловой фактор B_t	Координаты		
					x	y	z
1	Si	+4	1	0	0	0	0
2	O	-2	1	0	0	0	0,5

Таблица 2 – Характеристики примитивной элементарной кристаллической ячейки стишовита

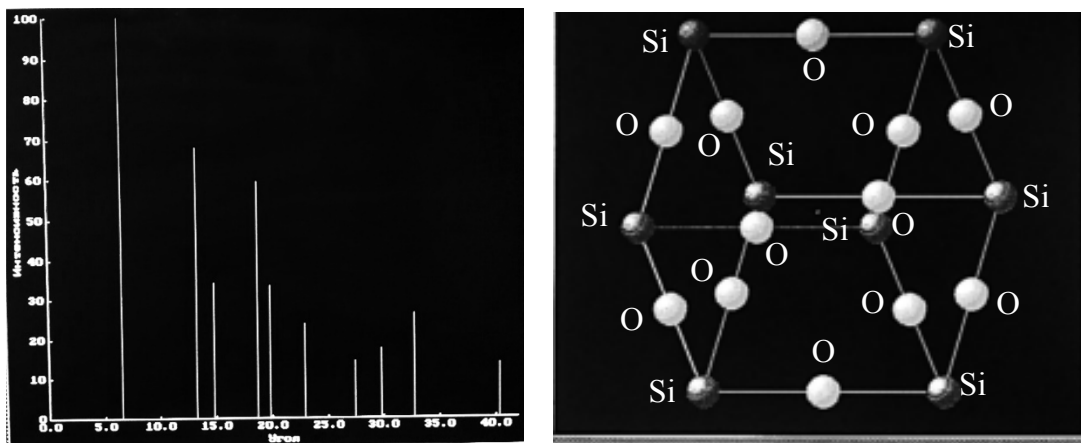
№ п/п	Атом	Валентность A	Заселенность m	Тепловой фактор B_t	Координаты		
					x	y	z
1	Si	+4	0,9998	0	0	0	0
2	O	-2	0,9999	0	0,3062	0,3062	0
3	Si	+4	0,0002	0	0,0023	0,0023	0,0042
4	O	-2	0,0001	0	0,0036	0,0036	0,0065

Для SiO_2 (β -кristобалит) кубической сингонии параметры примитивной кристаллической элементарной ячейки (рисунок 1) составляют: $a = 13,402 \text{ \AA}$, $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$. Для модификации SiO_2 стишовита атомы кремния находятся в октаэдрической координации (рисунок 2) тетрагональной сингонии, для которых параметры элементарной ячейки и углы имеют соответственно значения: $a = b = 4,1772 \text{ \AA}$, $c = 2,6651 \text{ \AA}$, $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$.

СЕКЦИЯ 2

Техническое и методическое обеспечение физического лабораторного практикума

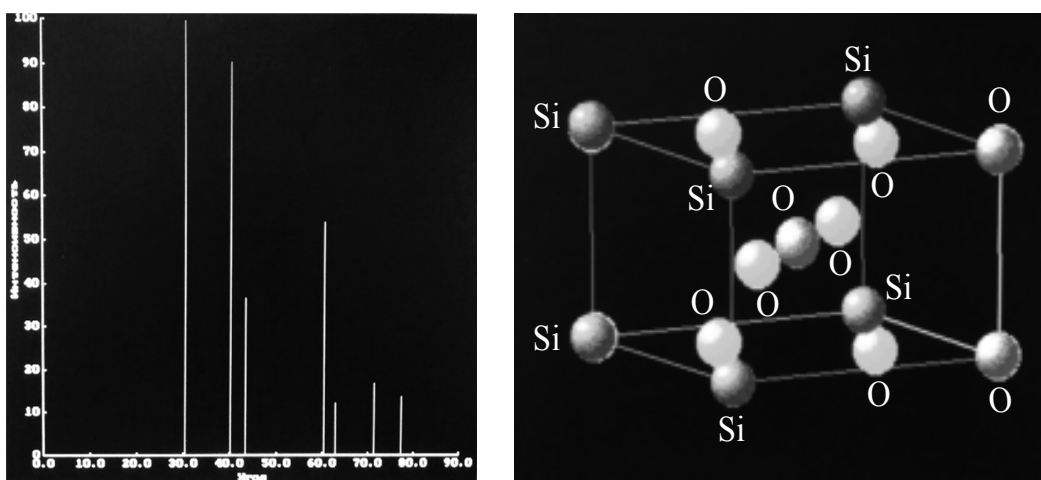
Разработанная программа позволяет производить вычисления межплоскостных расстояний и относительные интенсивности дифракционных пиков в зависимости от значения углов дифракции. По полученным данным студент самостоятельно может построить штрих-диаграммы (рисунок 1а и рисунок 2а) и изобразить элементарные ячейки с расположенными в ней атомами кремния Si и кислорода O согласно заданным координатам (рисунок 1б и рисунок 2б).



а

б

а – штрих-диаграмма; б – элементарная ячейка с расположением атомов Si и O
Рисунок 1 – Модификация β-кристобалит кубической сингонии



а

б

а – штрих-диаграмма; б – элементарная ячейка с расположением атомов кремния Si и кислорода O

Рисунок 2 – Модификация стишовита с примитивной кристаллической ячейкой тетрагональной сингонии

Атомы кремния Si и кислорода O с помощью программы показываются в элементарной ячейке разными цветами и в соответствии с их координатами (таблица 1 и таблица 2). Более того, программа позволяет включать поочередно изображения атомов различных химических элементов, чтобы более точно увидеть их расположение в элементарной ячейке.

Таким образом, студенты при обучении на физическом лабораторном практикуме могут наглядно увидеть различные кристаллические структуры песка и сделать выводы о взаимосвязи физико-химических свойств различных модификаций песка с особенностями его микроструктуры.

Данная работа выполнена в рамках научно-исследовательской темы кафедры «Физика» Белорусского национального технического университета 21-246 «Информационные и образовательные технологии в инновационном обучении студентов физике в техническом вузе» и изложенный материал можно рассматривать как один из этапов решения задач по внедрению инноваций в учебный процесс.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Савчук, Г. К. Обучение студентов инженерно-строительного профиля основам рентгеновской дифрактометрии с использованием компьютерной структурной кристаллографии / Г. К. Савчук, Н. П. Юркевич // Физическое образование в вузах. – 2005. – Т. 11, № 2. – С. 56–65.

2. Sauchuk, G. K. The teaching of students of the construction engineering specializations using the modern computational structural crystallography / G. K. Sauchuk, N. P. Yurkevich // Scientific Light. – 2018. – Vol. 1, № 19. – P. 15–20.

3. Ахмедов, А. П. Совмещение реальных и виртуальных лабораторных работ в образовательном процессе студентов / А. П. Ахмедов, С. Б. Худойберганов, Н. П. Юркевич // Актуальные проблемы современного естествознания : материалы XI Респ. научн.-методолог. семина., Минск, 3 декабря 2020 г. – Минск, 2020. – С. 91–95.

4. Юркевич, Н. П. Исследование распределения магнитного поля в многослойном соленоиде конечной длины / Н. П. Юркевич, Г. К. Савчук, П. Г. Кужир // Физическое образование в вузах. – 2015. – Т. 21, № 2. – С. 49–60.

5. Юркевич, Н. П. Компьютерное приложение для изучения микродеформаций и микронапряжений в твердых телах по дифракционным пикам / Н. П. Юркевич, Г. К. Савчук // Вода. Газ. Тепло. 2020 : матер. Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 100-лет. БНТУ 100-лет. каф. «Гидротехническое и энергетическое строительство, водный транспорт и гидравлика», 90-лет. каф. «Теплогазоснабжение и вентиляция», Минск, 8–10 октября 2020 г. – Минск, 2020. – С. 329–332.

6. Yurkevich, N. P. Determination of micro deformations and coherent scattering regions in ceramic materials / N. P. Yurkevich, G. K. Sauchuk // Sciences of Europe. – 2022. – Vol. 1, № 86. – P. 59–66.

7. Использование компьютерных технологий для контроля знаний студентов при выполнении физического практикума в рамках работы совместного факультета ТИПСЭАД-БНТУ / Н. П. Юркевич [и др.] // ВОДА. ГАЗ. ТЕПЛО 2020 : материалы Междун. науч.-техн. конф., посвящ. 100-летию Белор. нац. техн. ун-та, 100-лет. каф. «Гидротехнич. и энергетич. строит., водный транспорт и гидравлика», 90-лет. каф. «Теплогазоснабжение и вентиляция», Минск, 8–10 октября 2020 г. – Минск, 2020. – С. 324–328.

8. Юркевич, Н. П. Исследование упругих свойств древесины при выполнении лабораторного физического практикума в курсе общей физики / Н. П. Юркевич, Г. К. Савчук // Физическое образование в вузах. – 2016. – Т. 22, № 4. – С. 96–101.

9. Акимов, А. И. Керамические материалы (диэлектрические, пьезоэлектрические, сверхпроводящие): условия получения, структура, свойства / А. И. Акимов, Г. К. Савчук. – Минск : Изд. центр БГУ, 2012. – 256 с.

10. Кужир, П. Г. Общая физика: Оптика. Квантовая физика. Физика атомного ядра и элементарных частиц : сборник задач / П. Г. Кужир, Н. П. Юркевич, Г. К. Савчук. – Минск : БНТУ, 2018. – 197 с.

11. Кужир, П. Г. Общая физика: электричество, магнетизм. Сборник задач : учеб. пособие / П. Г. Кужир, Н. П. Юркевич, Г. К. Савчук. – Минск : Изд-во Гревцова, 2013. – 272 с.

12. Основы рентгеноструктурного анализа в материаловедении / А. А. Клопотов [и др.]. – Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2012. – 276 с.