

УДК 548.1.026

СТРУКТУРА И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЗУРИТА

Сибгатова Рената Рафаэльевна, студент, специальность 04.05.01 Фундаментальная и прикладная химия, Оренбургский государственный университет, Оренбург
e-mail: renatasibgatova826@gmail.com

Каныгина Ольга Николаевна, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры химии, Оренбургский государственный университет, Оренбург
e-mail: onkan@mail.ru

Аннотация. Работа посвящена изучению структурных и оптических свойств минерала азурита. Исследование было выполнено методом оптической спектроскопии с применением интерфейса программы ImageJ. Представлены основные теоретические сведения о структуре минерала азурита, параметры элементарной ячейки, данные о пространственной структуре и некоторые физические свойства. В работе приведено сравнение изображений минерала, полученных при разном увеличении. Приведены результаты колориметрического анализа, представленные в виде таблицы числовых значений вклада в изображение каждого из трех основных цветов. Минерал азурит представляет большой интерес для науки, поэтому исследование его свойств является актуальным направлением. Полученные данные показывают зависимость оптических свойств от структуры кристаллов. Результаты могут вызвать интерес у специалистов в области минералогии.

Ключевые слова: азурит, минерал, структура, оптические свойства, оптическая микроскопия, колориметрический анализ.

Для цитирования: Сибгатова Р. Р., Каныгина О. Н. Структура и оптические свойства азурита // Шаг в науку. – 2025. – № 3. – С. 17–21.

STRUCTURE AND OPTICAL PROPERTIES OF AZURITE

Sibgatova Renata Rafaelevna, student, specialty 04.05.01 Fundamental and Applied Chemistry, Orenburg State University, Orenburg
e-mail: renatasibgatova826@gmail.com

Kanygina Olga Nikolaevna, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Professor of the Department of Chemistry, Orenburg State University, Orenburg
e-mail: onkan@mail.ru

Abstract. The work is devoted to the study of the structural and optical properties of the azurite mineral. The study was performed by optical spectroscopy using the ImageJ program interface. The basic theoretical information about the structure of the azurite mineral, unit cell parameters, spatial structure data, and some physical properties are presented. The paper presents a comparison of images of the mineral obtained at different magnifications. The results of colorimetric analysis are presented in the form of a table of numerical values of the contribution to the image of each of the three primary colors. The mineral azurite is of great interest to science, therefore, the study of its properties is an urgent area. The data obtained show the dependence of optical properties on the crystal structure. The results may be of interest to specialists in the field of mineralogy.

Key words: azurite, mineral, structure, optical properties, optical microscopy, colorimetric analysis.

Cite as: Sibgatova, R. R., Kanygina, O. N. (2025) [Structure and optical properties of azurite]. *Shag v nauku* [Step into science]. Vol. 3, pp. 17–21.

Азурит, называемый также «медная лазурь» или «азурный шпат» – минерал синего цвета со стеклянным блеском. Он является одним из самых распространенных

минералов, содержащих медь. Свое название получил благодаря ярко-синей окраске: от персидского слова lazward – голубой [1]. Позднее французский

ученый-минералог Ф. Бедан в 1824 году присвоил ему имя, происходящее от «azur» – лазурь по-французски [3]. Азурит имеет множество названий: медная лазурь, азурный шпат, шесселит, медная синь, голубец.

Азурит – это минерал, который относится к классу карбонатов, с формулой $Cu_3(CO_3)_2(OH)_2$.

Структура минерала представляет собой цепоч-

ку из атомов меди, соединенных атомами кислорода. В силу такой особенности строения, ученые высказывают предположения о возможных магнитных свойствах азурита. Считается, что структура азурита способна деформироваться, и этот процесс совпадает с началом магнитного упорядочивания. Примерная модель структуры минерала представлена на рисунке 1.

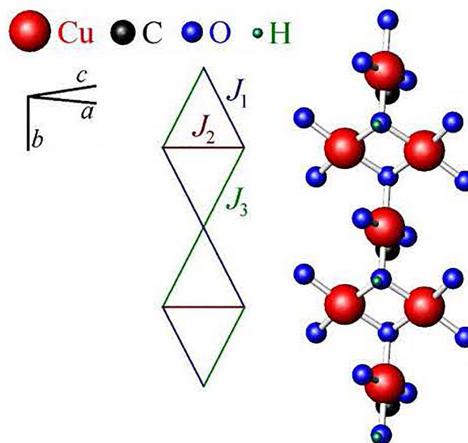


Рисунок 1. Модель структуры минерала азурита: красным цветом обозначены атомы меди, синим – атомы кислорода, черным – углерода, зеленым – водорода

Источник: взято из работы [7]

Важно отметить, что не всегда модель полностью может описать истинную структуру минерала, но на основании многих исследований ученые сходятся во мнении, что подобное строение наиболее точно отражает особенности азурита.

Минерал азурит кристаллизуется в моноклинной сингонии. Элементарная ячейка моноклинной сингонии строится на трёх векторах a , b и c , имеющих разную длину, с двумя прямыми и одним непрямым

углами между ними. Таким образом, форма ячейки определяется четырьмя параметрами: длинами базовых векторов a , b и c и углом β , отличающимся от прямого угла.

Чтобы подробнее изучить строение элементарной ячейки в азурите, рассмотрим на рисунке 2 структурный элемент, многократное повторение которых формирует основную цепь.

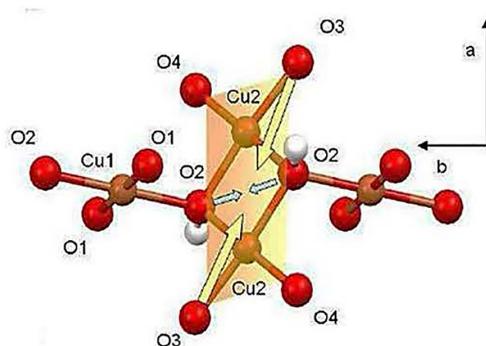


Рисунок 2. Структурный элемент молекулы азурита

Источник: взято из работы [5]

Атомы меди, формирующие цепь, обозначены символикой Cu_1 , они лежат на оси b и формируют ось симметрии второго порядка. Атомы меди Cu_2 расположены друг напротив друга и соединены при помощи атомов кислорода. В результате такого соединения формируется плоскость симметрии. Атомы углерода и водорода располагаются вдоль оси c . Атомы кислорода O_1 лежат вдоль оси b и также участвуют в формировании оси симметрии. Атомы кислорода O_2 , O_3 , O_4 лежат на оси a и вместе с атомами Cu_2 формируют плоскость симметрии.

Структура азурита относится к пространственной группе $P21/c$ [4; 8].

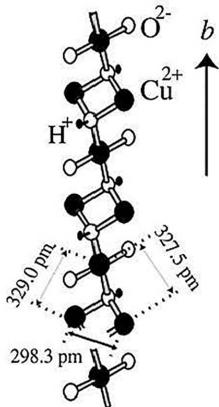


Рисунок 3. Параметры структуры цепи азурита

Источник: взято из работы [6]

Таким образом, расстояние между атомами меди в цепи равно 0,329 нм, расстояние между атомами меди в структурном элементе равно 0,298 нм, а между атомами меди и кислорода составляет 0,327 нм.

Азурит способен образовывать как одиночные кристаллы, так и более сложные агрегаты, в основном с малахитом, так как в основном эти минералы встречаются вместе в месторождениях [2]. Эти образова-

ния представляют большой интерес с точки зрения минералогии. Одним из видов таких агрегатов являются слоистые структуры.

Если рассматривать описание ячейки азурита с позиции формул Браве, она имеет вид L_2PC , что указывает на наличие оси второго порядка и плоскости, перпендикулярной оси c . Таким образом, описанная для ячейки формула Браве и изображение структуры минерала согласуются друг с другом.

Параметры ячейки $a = 0,5008$ нм, $b = 0,5844$ нм,

$c = 1,0336$ нм, $\beta = 92,45^\circ$, число атомов, приходящихся на ячейку, $Z = 2$ [8].

Известны данные о длине связей в молекуле азурита. На рисунке 3 представлены некоторые из параметров структуры минерала.

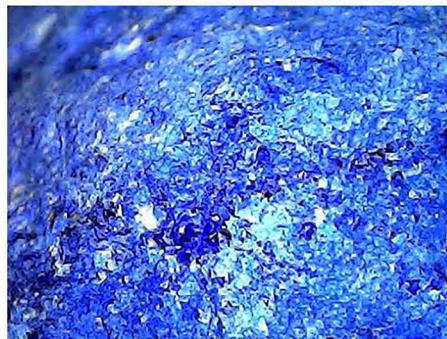


Рисунок 4. Изображения азурита при увеличении 270Х

Источник: получены авторами

Можно заметить, что даже при большом увеличении видны участки голубого цвета минерала. На изображении рисунка 5 a , полученном при значи-

тельно меньшем увеличении (35 крат), азурит выглядит ярко-синим. На рисунке 5 b показаны разноцветные включения.



a



b

Рисунок 5. Изображения минерала, полученные при увеличении 35 крат:

a – поверхности без включений; *b* – поверхности с яркими цветными включениями

Источник: разработано автором Р. Р. Сибгатовой

Цветные включения могут быть вызваны при осаждении на поверхности азурита различных минералов: хризоколлы, куприта, самородной меди, брошантита, элита, лимонита, гипса и различных сульфидов меди.

Авторами статьи был проведен колориметрический (цветометрический) анализ изображений азурита при малом увеличении. В результате получена диаграмма распределения пикселей и определены числовые значения вклада каждого из трех основных цветов в изображении, представленном в таблице 1. Анализ проводился для изображений, представленных на рисунках 5 a и 6.



Рисунок 6. Изображения, использованные для проведения колориметрического анализа

Источник: получены авторами

Таблица 1. Значения цветовых параметров изображений

Цветометрический параметр, отн. ед.	Красный	Зеленый	Голубой	Коэффициент отражения
Фрагмент № 1	0,31	0,48	0,88	0,56
Фрагмент № 2	0,57	0,59	0,66	0,61
Фрагмент № 3	0,43	0,48	0,62	0,51

Источник: получено автором Р. Р. Сибгатовой

Из результатов таблицы 1 можно выявить следующую закономерность: структурные особенности имеют значительное влияние на оптические свойства минерала. На изображениях с монотонной окраской (фрагмент № 1) можно заметить высокий вклад синего цвета по сравнению с остальными (0,88). На фотографиях с включениями (фрагмент № 2) вклады каждого из трех основных цветов значительно ближе друг к другу, а коэффициент отражения самый высокий (0,61). Поверхность фрагмента № 3, представляющая

собой сочетание разных фаз, имеет промежуточные цветовые параметры и самый низкий коэффициент отражения (0,51).

Благодаря уникальной структуре, минерал представляет большой интерес для науки, а именно с точки зрения возможности изучения его магнитных свойств [5; 6; 7]. Еще большее понимание о его свойствах можно получить, используя различные современные физические и химические методы исследования.

Литература

1. Кривовичев В. Г. Минералогический словарь. – СПб: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2009. – 556 с.
2. Ризаев И. С., Гибадуллин А. Р., Миахутдинов Д. И. Информационный подход к учету логических закономерностей взаимосвязей минеральных образований // Проблемы, перспективы и направления инновационного развития науки: сборник статей Международной научно-практической конференции: в 3 частях, Пермь, 08 июля 2017 года. Том Часть 2. – Пермь: Общество с ограниченной ответственностью «ОМЕГА САЙНС», 2017. – С. 117–121.
3. Azurite: Mineral information, data and localities. – URL: <https://www.mindat.org/min-447.html> (accessed: 05.03.2025).
4. Belokoneva E. L., Gubina Yu. K., Forsyth J. B. (2001) The charge density distribution and antiferromagnetic properties of azurite Cu₃(CO₃)₂(OH)₂. *Physics and Chemistry of Minerals*. No 28(7), pp. 498–507. – <http://dx.doi.org/10.1007/s002690100176>. (In Eng.).
5. Cong P. T., et al. (2014) Magneto-elastic couplings in the distorted diamond-chain compound azurite. *Physical Review B*. No 89. – <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevB.89.174427>. (In Eng.).
6. Kikuchi H., et al. (2005) Magnetic properties of the diamond chain compound Cu₃(CO₃)₂(OH)₂. *Progress of Theoretical Physics Supplement*. No 159, pp. 1–10. – <http://dx.doi.org/10.1143/PTPS.159.1>. (In Eng.).
7. Rule K. C., et al. (2011) Magnetic and crystal structure of azurite Cu₃(CO₃)₂(OH)₂ as determined by neutron diffraction. *Physical Review B*. No 83. – <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevB.83.104401>. (In Eng.).
8. Zigan F., Schuster H. D. (1972) Verfeinerung der Struktur von Azurit, Cu₃(OH)₂(CO₃)₂, durch Neutronenbeugung. *Zeitschrift für Kristallographie – Crystalline Materials*. No. 135, pp. 416–436. – <https://doi.org/10.1524/zkri.1972.135.5-6.416>. (In German).

Статья поступила в редакцию: 21.03.2025; принята в печать: 02.07.2025.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.