

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УРОВНЕЙ ИЗОЛИРОВАННОГО АТОМА В ЗОНЫ ПРИ ОБРАЗОВАНИИ КРИСТАЛЛА

Бозоров Носиржон Содикович – канд физ-мат. наук, зав. кафедрой физики и астрономии Кокандского госпединститута e-mail: bozorov1970@mail.ru

Умуркулов Каюмжон Парпиевич – преподаватель кафедры физики и астрономии Кокандского госпединститута

Алишеров Отабек Алишер угли – зав. кабинетом кафедры физики и астрономии Кокандского госпединститута

ARTICLE INFO.

Ключевые слова:

Аннотация

В статье изложены основные представления о потенциальной яме в которой электрон может занимать одно из ряда дискретных энергетических состояний.

Показана энергетическую схему изолированного атома.

При образовании кристалла происходит не только уменьшение высоты и ширины потенциального барьера, но и качественное изменение энергетических уровней электронов. Чем тоньше и ниже эти потенциальные барьеры, тем полнее осуществляется обобществление электронов.

space.кристалла...<http://www.gospodarkainnowacje.pl/> © 2023 LWAB.

Как известно, изолированный атом представляет собой потенциальную яму, в которой электрон может занимать одно из ряда дискретных энергетических состояний. Рассмотрим энергетическую схему изолированного атома натрия ($Z = 11$). Зависимость потенциальной энергии U электрона от расстояния r до ядра показана на рис.1 сплошной линией.

Горизонтальные линии соответствуют полной энергии E электрона. 11 электронов в основном состоянии атома натрия распределяются по энергетическим уровням в соответствии с принципом Паули следующим образом: в состоянии $1s$ находится 2 электрона с противоположно направленными спинами, в состоянии $2s$ - 2 электрона, $2p$ – 6 электронов, $3s$ – 1 электрон. Этот последний электрон слабо связан с ядром и носит название валентного электрона. Уровни $1s$, $2s$, $2p$ у атома натрия укомплектованы полностью; уровень $3s$ наполовину; уровни, расположенные выше $3s$, свободны.

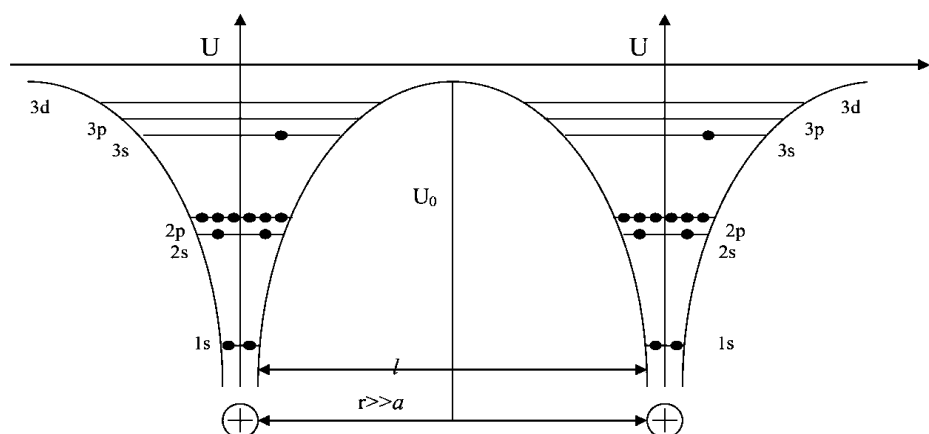


Рис.1

Если сблизить два изолированных атома до таких расстояний, что взаимодействие между ними ещё не проявляется ($r > 10a$), то энергетические уровни электронов в атомах остаются без изменений. Изолированные атомы отделены друг от друга потенциальными барьерами шириной $l \gg a$, где a постоянная кристаллической решётки. Высота барьера для электронов, находящихся на разных уровнях, различна. Потенциальный барьер препятствует свободному переходу электронов от одного атома к другому. Расчёт показывает, что при $r = 3$ нм, переход $3s$ – электрона от атома к атому может осуществиться в среднем один раз за 10^{20} лет.

В кристаллах атомы расположены на расстояниях $r < 10^{-9}$ м (постоянная решётки у натрия $a = 0,43$ нм) и поэтому между ними существует сильное взаимодействие. Сближение N атомов [$N = (10^{23} - 10^{24}) \text{ см}^3$] оказывает двоякое действие на потенциальный барьер: оно уменьшает его толщину до значения $l \sim a$ и понижает высоту (рис.2). Для электронов в $3s$ -состоянии высота барьера оказывается ниже первоначального положения $3s$ -уровня в атоме натрия, поэтому валентные электроны этого уровня получают возможность практически беспрепятственно переходить от одного атома к другому. Они теперь не локализованы в конкретном атоме. Скорость передвижения электронов примерно равна 10^5 м/с. Расчет показывает, что валентный электрон принадлежит конкретному атому в течение 10^{-15} с. Переход электрона от атома к атому происходит без изменения его энергии. Всё это соответствует состоянию полного обобществления валентных электронов в решётке. Такие обобществлённые электроны называют обычно свободными, а их совокупность электронным газом.

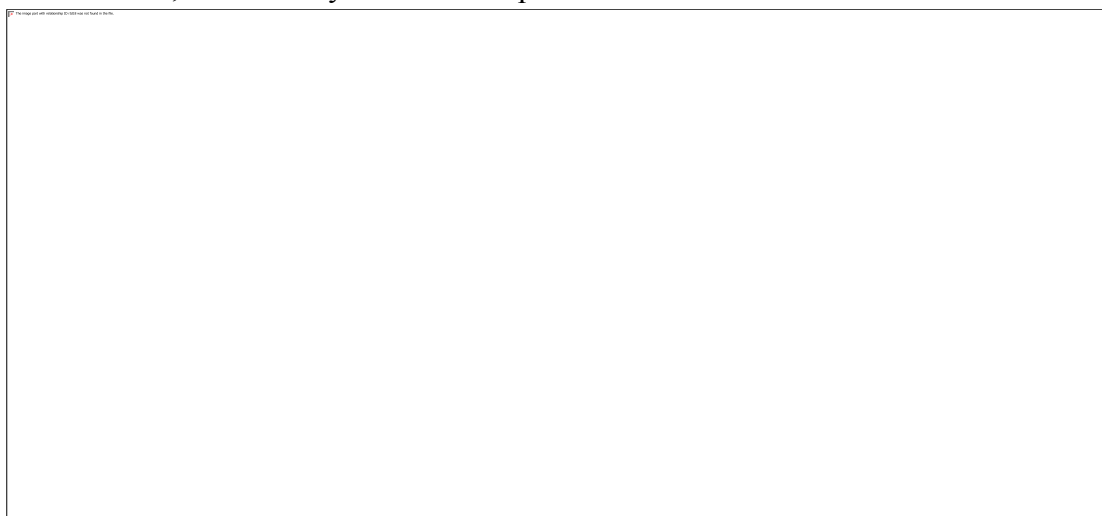


Рис.2

При образовании кристалла происходит не только уменьшение высоты и ширины потенциального барьера, но и качественное изменение энергетических уровней электронов. Для выяснения этого воспользуемся соотношением неопределённостей Гейзенберга: $\Delta E \Delta t \geq \hbar$, где Δt – время нахождения электрона в энергетическом состоянии с энергией от E до $E \pm \Delta E$, а величина ΔE определяет ширину энергетического уровня. В изолированном атоме электрон в основном состоянии может находиться сколь угодно долго, и поэтому ширина энергетического уровня ΔE сколь угодно мала. В возбуждённом состоянии электрон находится в течение времени $\Delta t = 10^{-8}$ с, при этом ширина возбуждённого энергетического уровня составляет для валентного электрона величину $\Delta E = \hbar / \Delta t = 6,63 \cdot 10^{-34} / (10^{-8} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}) \sim 10^{-7}$ эВ.

Рассмотрим возможность оценки ширины ΔE разрешённых энергий валентного электрона в кристалле. Для простоты предположим, что потенциальный барьер, разделяющий атомы в кристалле, имеет прямоугольные стенки (рис.3). Квантовая механика приводит к возможности прохождения частиц через потенциальный барьер, причём, прозрачность барьера D зависит от высоты $(U_0 - E)$ и ширины l потенциального барьера, согласно формуле

$$D = D_0 \exp\left(\frac{2l}{\hbar} \sqrt{2m(U_0 - E)}\right) \quad (1)$$

В формуле (1) параметр D_0 по порядку величины равен единице. Для случая валентных электронов примем следующие данные:

масса электрона $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг; полная энергия $E = 10$ эВ;
ширина барьера $l = 10^{-10}$ м; высота барьера $U_0 - E = 10$ эВ.

Если принять, что скорость теплового движения v электрона в кристалле равна 10^5 м/с, то за одну секунду электрон $v_0 = v/r$ раз ударится о барьер (правильнее говорить о том, что электрон-волна будет отражаться от потенциального барьера). Тогда частота просачивания электрона через потенциальный барьер определится как $\nu = v_0 D = \nu D / r$.

Отсюда время принадлежности валентного электрона конкретному атому равно $\tau = \frac{l}{v} = \frac{r}{v} \exp\left(\frac{2l}{\hbar} \sqrt{2m(U_0 - E)}\right)$. Подстановка всех числовых значений в последнее выражение даёт величину для $\tau = 10^{-15}$ с. Применяя снова соотношение неопределённостей, для ширины зоны дозволённых уровней ΔE получим значение ~ 1 эВ.

Таким образом, в кристалле возникает зона дозволённых значений энергии валентного электрона в 10 раз шире, чем у этого же электрона в изолированном атоме (рис.4). В данном случае говорят, что энергетический уровень электрона в изолированном атоме при образовании кристалла расщепляется в зону.

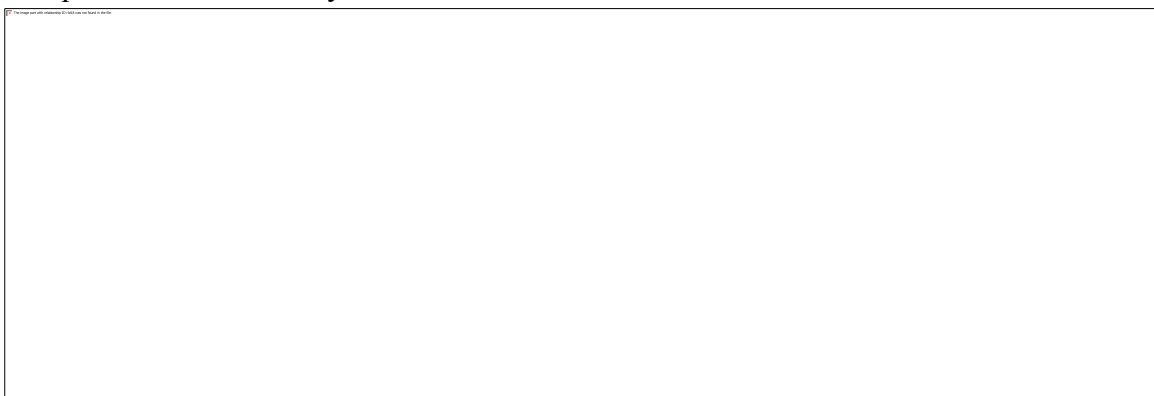


Рис.3

Вследствие резкого уменьшения толщины и высоты потенциального барьера при сближении атомов свободу перемещения по кристаллу получают не только валентные электроны, но и электроны, расположенные на других энергетических

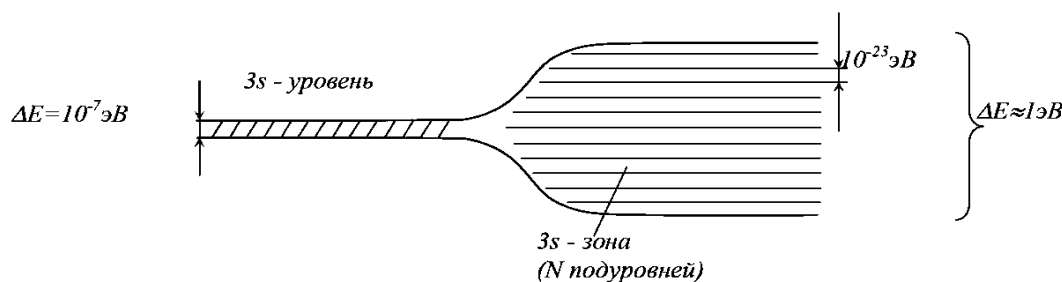


Рис.4

Чем тоньше и ниже эти потенциальные барьеры, тем полнее осуществляется обобществление электронов. Но чем меньше энергия электрона в атоме, тем больше он связан с ядром, тем больше для него размеры потенциальных барьеров. Так для электронов 1s-состояния время принадлежности конкретному атому составляет уже $\tau \sim 10^{20}$ лет, следовательно, они остаются в кристалле столь жёстко локализованными на определённых узлах кристаллической решётки, как и в изолированном атоме.

Использованная литература.

1. Мухторов, Лутфулло Тохирович, Абдуали Абдуманонов, and Носирчон Бозоров. "The method of drawing graphs on physics by using Visual Basic 6.0 program." *Ученые записки Худжандского государственного университета им. академика Б. Гафурова. Серия: Естественные и экономические науки* 4 (2018): 194-198.
2. Бозоров, Н. С. "Поврежденность кристаллов при взрыве горных пород: Автореф. дис... канд. физ.-мат. наук: 01.04. 07."
3. Sodikovich, Bozorov Nosirjon, and Umurkulov Kayumjon Parpievich. "MICROMECHANICAL APPROACH TO STRENGTH AND FRACTURE ANALYSIS OF HETEROGENEOUS MATERIALS." *INTERNATIONAL JOURNAL OF SOCIAL SCIENCE & INTERDISCIPLINARY RESEARCH* ISSN: 2277-3630 Impact factor: 7.429 12.04 (2023): 174-176.
4. Sodikovich, Bozorov Nosirjon, Umurkulov Kayumjon Parpievich, and Abdumanova Firuza Abdualievna. "SOME ASPECTS OF SURFACE PROCESSES ON A SOLID BODY." *Galaxy International Interdisciplinary Research Journal* 10.12 (2022): 78-80.
5. Parpievich, Bozorov Nosirjon Sodikovich Umurkulov Kayumjon, and Abdumanonova Firuza Abdualievna. "FORMATION OF IDEAS ABOUT MICROMECHANICS DESTRUCTION IN THE PROCESS OF TEACHING A PHYSICS COURSE." *Galaxy International Interdisciplinary Research Journal* 10.12 (2022): 60-64.
6. Абдуманонов, Абдуали, et al. "MICROCRACKS'ROLE AT DESTRUCTION AND EVALUATION OF HARDNESS FIRM." *Ученые записки Худжандского государственного университета им. академика Б. Гафурова. Серия: Естественные и экономические науки* 52.1 (2020): 34-38.
7. Leksovskii, A. M., Borovikov, V. A., Bozorov, N. S., & Abdumanonov, A. (1996). Detection of microcracks in rock samples using the luminescent microscopy technique. *PISMA V ZHURNAL TEKHNIČESKOI FIZIKI*, 22(3), 6-10.

8. Бозоров, Н. С. "Поврежденность кристаллов при взрыве горных пород: Автореф. дис... канд. физ.-мат. наук: 01.04. 07."
9. Khursanbayevich, Kuchkorov Mavzurjon. "SEMICONDUCTORS: THE HISTORY OF FORMATION AS A SCIENCE. DEFECTS IN THE CRYSTAL STRUCTURE. ELECTRICAL CONDUCTIVITY AND CONTACT PHENOMENA." *INTERNATIONAL JOURNAL OF SOCIAL SCIENCE & INTERDISCIPLINARY RESEARCH* ISSN: 2277-3630 Impact factor: 7.429 12.06 (2023): 172-175.
10. Qo'chqorov, Mavzurjon Xursanboyevich, and Moxinur Voxidjon qizi Muxammadyusupova. "NISBIYLIK NAZARIYASI HAMDA EYNSHTEYN PASTULOTLARI. KVANT MEXANIKASI VA MIKROZARRALAR." *Educational Research in Universal Sciences* 2.4 (2023): 799-801.
11. Расулов, Рустам Явкачович, et al. "Межзонное многофотонное поглощение поляризованного излучения и его линейно-циркулярный дихроизм в полупроводниках в приближении Кейна." *Известия высших учебных заведений. Физика*. 2022. Т. 65, № 10. С. 127-134 (2022).
12. RASULOV, VOXOB RUSTAMOVICH, et al. "MATRIX ELEMENTS OF THREE PHOTONIC OPTICAL TRANSITIONS IN CRYSTALS OF CUBIC SYMMETRY. OPTICAL TRANSITIONS FROM THE SPIN-ORBITAL SPLITTING BAND TO THE CONDUCTION BAND." *EUROPEAN SCIENCE REVIEW*: 35-39.
13. Rasulov, R., Rasulov, V., Eshboltaev, I., & Kuchkarov, M. TO THE THEORY OF SIZE QUANTIZATION IN A QUANTUM WELL OF p-Te. *Deutsche internationale Zeitschrift für zeitgenössische Wissenschaft* □□□ № 22 2021 VOL., 62. RASULOV, VOXOB RUSTAMOVICH, et al. "INVESTIGATION OF SIZE QUANTIZATION IN A GYROTROPIC SEMICONDUCTOR." *EUROPEAN SCIENCE REVIEW*: 22-26.
14. Masodiqova, D. "MAMLAKATIMIZDA INKLYUZIV TA'LIMNI RIVOJLANTIRISH TAMOYILLARI VA ISTIQBOLLARI." *Экономика и социум* 3-1 (94) (2022): 662-665.
15. Mamadaliyeva, N. Z., and D. R. Masodiqova. "ORGANIZATION OF PRACTICAL TRAINING ON QUANTUM MECHANICS IN PEDAGOGICAL HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS." *Экономика и социум* 3-2 (2021): 718-724.
16. Khursanbayevich, Kuchkorov Mavzurjon. "SEMICONDUCTORS: THE HISTORY OF FORMATION AS A SCIENCE. DEFECTS IN THE CRYSTAL STRUCTURE. ELECTRICAL CONDUCTIVITY AND CONTACT PHENOMENA." *INTERNATIONAL JOURNAL OF SOCIAL SCIENCE & INTERDISCIPLINARY RESEARCH* ISSN: 2277-3630 Impact factor: 7.429 12.06 (2023): 172-175.
17. Qo'chqorov, Mavzurjon Xursanboyevich, and Moxinur Voxidjon qizi Muxammadyusupova. "NISBIYLIK NAZARIYASI HAMDA EYNSHTEYN PASTULOTLARI. KVANT MEXANIKASI VA MIKROZARRALAR." *Educational Research in Universal Sciences* 2.4 (2023): 799-801.
18. Melibayev, M., M. Kh Kuchkarov, and M. Abdusalomov. "THE IMPORTANCE OF INFORMATION TECHNOLOGY IN TEACHING PHYSICS IN GENERAL SECONDARY SCHOOLS." *Galaxy International Interdisciplinary Research Journal* 10.12 (2022): 1943-1947.
19. Melibaev, M., and S. Y. Yuldashev. "Spatial parity nonconservation in atomic Auger decays." *Sov. J. Nucl. Phys.(Engl. Transl.);(United States)* 41.1 (1985).

20. Labzovskii, L. N., M. Melibaev, and J. S. Murti. "Higher approximations for transition matrices and their application to the calculation of atomic spectra." *Theoretical and Experimental Chemistry* 13 (1977): 107-110.
21. Gorshkov, V. G., L. N. Labzovskii, and M. Melibaev. "Parity nonconservation effects in X-ray atomic spectra." *Yad. Fiz.:(USSR)* 28.6 (1978).
22. Ibragimova, R. X., M. A. Raximberdiyeva, and N. A. Tojiyeva. "DIURNAL APPEARANCE MOVEMENTS OF LUMINAIRES. METHODOLOGY OF TEACHING THE SUBJECT" CONSTELLATIONS." *Galaxy International Interdisciplinary Research Journal* 10.12 (2022): 1948-1956.
23. Раҳимов, К. А., and Р. Х. Ибрагимова. "АСТРОНОМИК МАЗМУНДАГИ ФИЗИК МАСАЛАЛАРНИ ЕЧИШ ОРҚАЛИ ЎҚУВЧИЛАРНИНГ ҚИЗИҚИШИНИ ОРТТИРИШ." *E Conference Zone*. 2022.
24. ДАДАБОЕВА, ФЕРУЗА ОЛИМЖОНОВНА, РАНО ХАМДАМОВНА ИБРАГИМОВА, and КАМОЛА ЮСУПОВА. "ТЕХНОЛОГИЯ ПОСТАНОВКИ ДИАГНОСТИЧНЫХ ЦЕЛЕЙ ОБУЧЕНИЯ." *БУДУЩЕЕ НАУКИ-2015*. 2015.
25. Sattorova, D. "IMPORTANCE OF MODERN EDUCATIONAL TECHNOLOGIES IN TEACHING PHYSICS IN PART OF "ELECTRICITY AND MAGNETISM".*Science and innovation* 2.B10 (2023): 214-218.
26. Sattorova, D., and Sh Jo'martova. "USING MODERN EDUCATIONAL METHODS, DETERMINING STUDENTS'MASTERY LEVEL." *Open Access Repository* 8.12 (2022): 509-511.
27. Махаммаджонвич, Madaliyev Akmaljon. "LATEST ACHIEVEMENTS OF ELEMENTARY PARTICLE PHYSICS AND THE STATE OF ITS TEACHING IN PEDAGOGICAL UNIVERSITIES."
28. Makhhammadjonovich, Madaliyev Akmaljon. "Pedagogical-Psychological Aspects Of Teaching Elementary Particle Physics In Practical Classes In General Physics." *Pedagogical Cluster-Journal of Pedagogical Developments* 1.2 (2023): 18-27.
29. Rasulov, V. R., et al. "European Science Review, Issue 9-10-1/2018."
30. Rustamovich, R. V., Yavkachovich, R. R., Eshboltaev, I. M., & Mamadaliyeva, N. Z. (2018). Surface photoconductivity in a multivalley semiconductor. *European science review*, (1-2), 263-266.
31. Otaqo'Ziyevna, Toxirova Maxfuzaxon, and Azizova Xonzodabegim. "YORUG'LIKNING TARQALISHI, QAYTISHI VA SINISHI MAVZUSINI ZAMONAVIY PEDAGOGIK TEXNALOGIYALARI ASOSIDA TASHKIL ETISH USULLARI." *Ta'lim fidoyilari* 22.7 (2022): 452-457.
32. Toxirova, Maxfuzaxon Otaqo'ziyevna. "FIZIKA FANINING BOSHQA FANLAR BILAN O 'ZARO ALOQADORLIGI VA FANLARARO BOG 'LANISHNING O 'ZIGA XOS XUSUSIYATLARI." *Educational Research in Universal Sciences* 2.16 (2023): 787-790.
33. Urinova, Kamala Komildjonovna. "INKLUZIV TA'LIM JARAYONIDA FIZIKA DARSLARINI TASHKIL ETISH, MASALALARNI MUHOKAMA QILISH BO 'YICHA USLUBIY TAVSIYALAR." *Educational Research in Universal Sciences* 2.5 (2023): 686-690.
34. Komildjonovna, Urinova Kamala. "TYPES AND IMPORTANCE OF MODERN EDUCATIONAL TECHNOLOGIES IN PHYSICS LESSONS ON THE PRIORITY OF INCLUSIVE EDUCATION." *INTERNATIONAL JOURNAL OF SOCIAL SCIENCE & INTERDISCIPLINARY RESEARCH ISSN: 2277-3630 Impact factor: 7.429* 12.04 (2023): 177-178.

35. HAKIMOVA, Y. (2023). IT-INDUSTRIYA SOHASIGA RAQOBATBARDOSH KADRLAR TAYYORLASHA XORIJ TAJRIBASI. *Scienceweb academic papers collection*.
36. Hakimova, YT (2023). MASALOVLI TA'LIM JARAYONIDA BULUT TEXNOLOGIYALARIDAN FOYDALANISH "INFORMATIKA METODIKASI" FANINI O'QITISH METODIKASI. *Ochiq kirish ombori*, 9 (6), 238-240.
37. HAKIMOVA, Y. (2023). RAQAMLI OLAMDA MASOFAVIY TA'LIMNI RIVOJLANTIRISH. *Scienceweb academic papers collection*.