

УДК 541.21

UDC 541.21

02.00.00 Химические науки

Chemical sciences

**ЧИСЛА КЕПЛера В МОДЕЛИ РЕЗЕРФОРДА-БОРА****KEPLER'S NUMBERS IN THE MODEL OF THE RUTHERFORD-BOHR**

Казаченко Александр Сергеевич  
к.х.н., Научный сотрудник  
ORCID: 0000-0002-3121-1666  
*Федеральный исследовательский центр  
"Красноярский научный центр Сибирского  
отделения Российской академии наук»,  
Институт химии и химических технологии СО  
РАН, Красноярск*

Kazachenko Alexander Sergeevich  
Cand.Chem.Sci., Researcher  
ORCID: 0000-0002-3121-1666  
*Federal Research Center "Krasnoyarsk Scientific  
Center of the Siberian Branch of the Russian  
Academy of Sciences,  
Institute of Chemistry and Chemical Technology SB  
RAS», Krasnoyarsk*

Казаченко Анна Семеновна  
к.х.н., доцент  
*ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный  
университет», Россия*

Kazachenko Anna Semenovna  
Cand.Chem.Sci., assistant professor  
*Siberian Federal University, Russia*

Исследовано изменение атомного числа Кеплера в Периодической таблице Д.И.Менделеева. Показано, что его значения закономерно убывают с увеличением заряда ядра. Предложена альтернативная формула вычислений значений атомного числа Кеплера. Показано, что отношение атомного числа Кеплера к массе атома является константой для каждого периода. Рассчитаны значения данных констант

The change in the Kepler's atomic number in the Periodic Table of Mendeleev is studied. It is shown that its values decrease regularly with increasing nuclear charge. An alternative formula for computing the values of the Kepler's atomic number is proposed. It is shown that the ratio of the atomic number of Kepler's to the mass of the atom is a constant for each period. The values of these constants are calculated

Ключевые слова: ТАБЛИЦА МЕНДЕЛЕЕВА, ЧИСЛО КЕПЛера, МОДЕЛЬ РЕЗЕРФОРДА-БОРА, ЗАКОНЫ КЕПЛера

Keywords: PERIODIC TABLE, KEPLER'S NUMBERS, MODEL OF THE RUTHERFORD-BOHR, KEPLER'S LAWS

**Doi: 10.21515/1990-4665-134-081**

## 1. Введение

Радиус атома является одним из наиболее очевидных и важных параметров атома, которые дают информацию о модели атомных оболочек и влиянии различных взаимодействий на структуру атома [1]. Однако некоторыми авторами считается [2], что радиус атома не является и не может быть внутренним свойством элемента. По крайней мере, для химика, который интересуется свойствами атомов внутри молекул (но не как изолированных объектов), поскольку облако электронной плотности, связанное с атомным ядром, по-разному изменяется как по форме, так и по размеру с помощью связанных с ним атомов.

Под атомным радиусом часто понимают эмпирические величины разной природы: ковалентные, кристаллографические, ван-дер-ваальсовские радиусы [3-7]. Значения атомных радиусов могут дать приблизительное представление о стерической массе разнообразных молекулярных фрагментов и о полуколичественном анализе кинетических данных при поиске стерических эффектов. Различие в реакционной способности в лантаноидах, вероятно, связано с различиями в атомных радиусах [2].

Радиусы атомов имеют большое значение в кристаллохимии, физической химии, геохимии. Используя радиусы атомов, можно приближенно предсказать значения межатомных расстояний [8, 9]. Непосредственное измерение радиусов изолированных атомов считается невозможным. Как правило, с помощью физико-химических методов измеряют межъядерные расстояния в кристаллах или в газовых молекулах, из которых вычисляют значения радиусов атомов [8,10,11]. Изучение радиусов и форм атомов, до сих пор привлекает внимание многих специалистов [12-22], что обусловлено желанием иметь наглядное представление о взаимодействующих атомах в различных соединениях [22].

В планетарной теории Резерфорда-Бора радиус атома выступает как важный параметр теории, благодаря которому определяют систему связанных между собой электронов и протонов [23-25]. Масса ядра примерно на 99,9% больше массы электрона, а расстояние между ними существенно больше размеров самих частиц. Единственным способом описания их сосуществования является динамическая система, в которой ядро выступает центром притяжения для обращающегося вокруг него электронов. При таких характеристиках задача описания атома близка к задаче о движении планеты вокруг Солнца, известной как классическая задача Кеплера [23, 24]. В работе [26] принимается, что орбиты электронов

имеют эллиптическую форму. Таким образом, законы Кеплера могут быть применены для планетарной теории Резерфорда-Бора.

Целью данной работы является исследование изменений чисел Кеплера для атомов в Периодической системе химических элементов Д.И. Менделеева.

## 2. Исследование чисел Кеплера в Периодической системе химических элементов Д.И. Менделеева

Из работы [27], согласно Третьему закону Кеплера, известно, что квадраты периодов обращения планет вокруг Солнца относятся, как кубы больших полуосей орбит планет. То есть, если адаптировать данное утверждение под планетарную модель атома, то для атомов можно рассчитать число Кеплера для атомов по формуле:

$$K' = \frac{T^2}{R^3}$$

(1)

где  $K'$  – атомное число Кеплера,

$T$  – период обращения электрона вокруг ядра по радиусу  $R$ .

Согласно постулатам Бора, по Второму закону Ньютона:

$$\frac{m_e v^2}{R} = \frac{Zke^2}{R^2}$$

(2)

$$v = e^* \sqrt{\frac{Zk}{R^* m_e}}$$

(3)

$$w = \frac{v}{R}$$

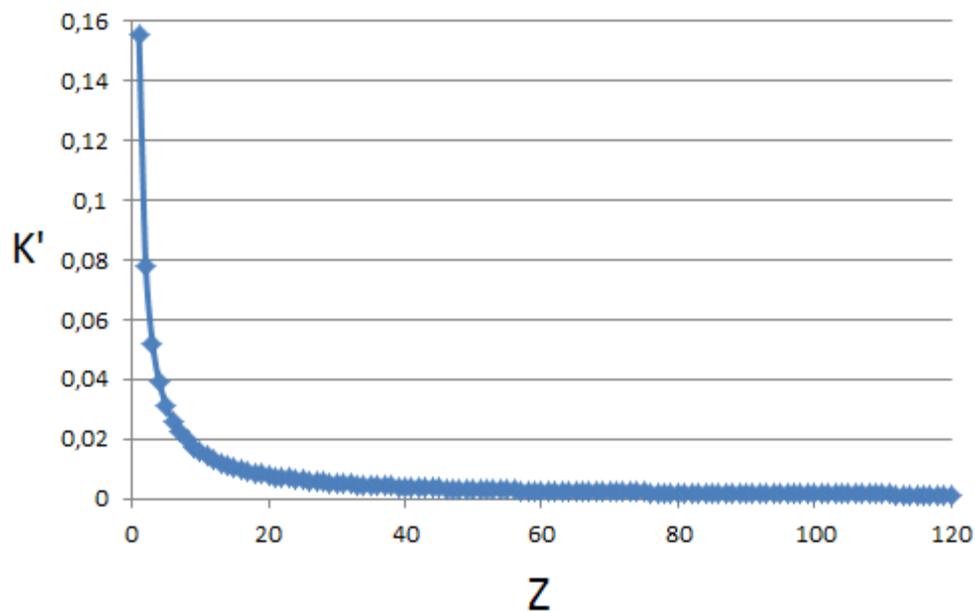
(4)

$$T = \frac{2\pi}{w}$$

(5)

где  $m_e$  — масса электрона,  $e$  — его заряд,  $Z$  — атомный номер и  $k$  — кулоновская константа, зависящая от выбора системы единиц.

Проверим изменение атомного числа Кеплера в Периодической системе химических элементов Д.И. Менделеева, построив график зависимости  $K'=f(Z)$ . Данные приведены на рисунке 1.



**Рисунок 1. Зависимость изменения числа Кеплера от заряда ядра**

Из рисунка 1 следует, что при увеличении заряда ядра идет закономерное уменьшение значения атомного числа Кеплера и достигает значений  $0,0013 \text{ с}^2/\text{м}^3$  для элемента с  $Z=120$ .

Согласно работам [28, 29] число Кеплера возможно вычислить по формуле:

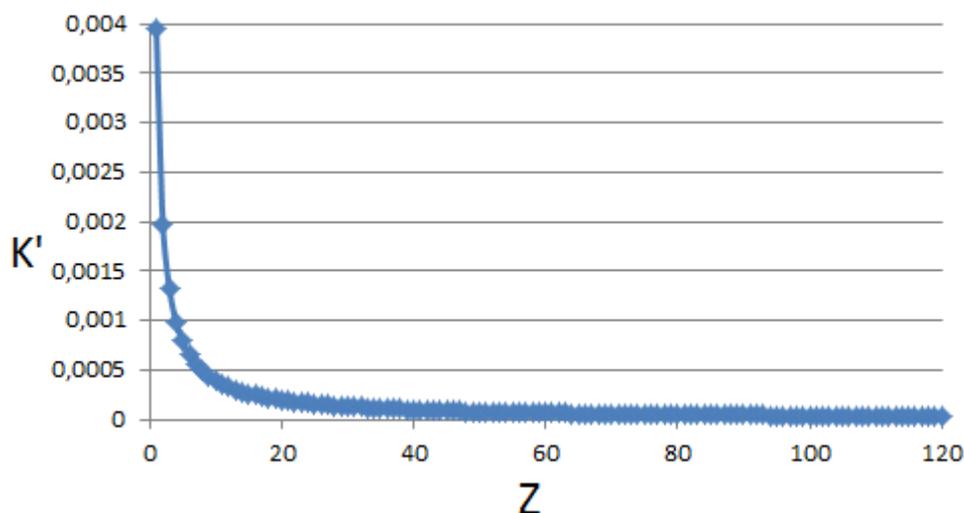
$$K_2' = \frac{1}{R \cdot v^2}$$

(6)

где  $K_2'$  – атомное число Кеплера, вычисленное по работе [28],

$v$  – скорость электрона на орбите с радиусом  $R$ .

Построим график зависимости изменения атомного числа Кеплера (2) от заряда ядра атома  $K_2'=f(Z)$ . Результаты приведены на рисунке 2.



**Рисунок 2. Зависимость изменения числа Кеплера, рассчитанные по [28] от заряда ядра**

Как показано на рисунке 2, зависимость  $K_2' = f(Z)$  идентична по форме зависимости  $K' = f(Z)$  (рисунок 1). Рассчитаем отношение чисел Кеплера, полученных различными способами.

$$\frac{K'_1}{K'_2} = const = 4\pi^2$$

(7)

Таким образом, получаем формулу:

$$\frac{T^2}{R^3} = \frac{4\pi^2}{R \cdot v^2}$$

(8)

Проверим правильность применения данной формулы:

$$T^2 = \frac{4(\pi R)^2}{v^2}$$

(9)

$$T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi}{w}$$

(10)

Формула 10 соответствует формуле 5, что доказывает обоснованность применения формулы 8.

Попробуем подставить значение  $\nu$  из формулы 3 в формулу 6, тогда получим выражение:

$$K' = \frac{4 \cdot \pi^2 m_e}{k \cdot Z \cdot e^2} = \frac{0,1577}{Z} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot Z}$$

(11)

Из чего следует, что

$$K' \cdot Z = const = \frac{1}{2 \cdot \pi}$$

(12)

$$\frac{8\pi^3 m_e}{k \cdot e^2} = 1 \quad \left[ \frac{c^2}{M^3} \right]$$

(13)

Зависимость  $K' \cdot M = f(Z)$  идентична зависимости  $(mc^2)/Z = f(Z)$  из работы [29], из чего следует, что эти характеристики взаимосвязаны через некоторую константу:

$$K' \cdot m = \frac{m \cdot c^2}{Z} \cdot K'' \tag{14}$$

где  $K'$  – атомное число Кеплера,

$m$  – масса атома,

$Z$  – порядковый номер (заряд атома),

$c$  – скорость света в вакууме,

$K''$  – константа пропорциональности уравнения (атомная константа Кеплера).

Из уравнения 12 следует, что:

$$K' = \frac{c^2 K''}{Z}$$

(15)

$$K' \cdot Z = c^2 K'' = \frac{1}{2 \cdot \pi}$$

(16)

то есть:

$$K'' = \frac{1}{2\pi c^2} = 0,01770837563 * 10^{-16} = 1,771 * 10^{-18} \left[ \frac{c^4}{M^5} \right] \quad (17)$$

Таким образом, получаем систему уравнений, характеризующих множество вариантов вычисления числа Кеплера для атомов:

$$K' = \frac{T^2}{R^3} = \frac{4\pi^2}{R*v^2} = \frac{4*\pi^2*m_e}{k*Z*e^2} = \frac{1}{2*\pi*Z} = \frac{c^2*K''}{Z} \quad (18)$$

$$\frac{8*\pi^3*m_e}{k*e^2} = 1 \quad (19)$$

### 3. Исследование соотношения К'/М в Периодической таблице химических элементов Д.И. Менделеева

В работах [28, 29] высказано предположение, что отношение числа Кеплера к массе центрального объекта (в данном случае ядра) Солнечной системы является постоянной величиной. Проверим обоснованность этого утверждения по отношению к атомам химических элементов. Результаты приведены на рисунке 3 и в таблице 1.

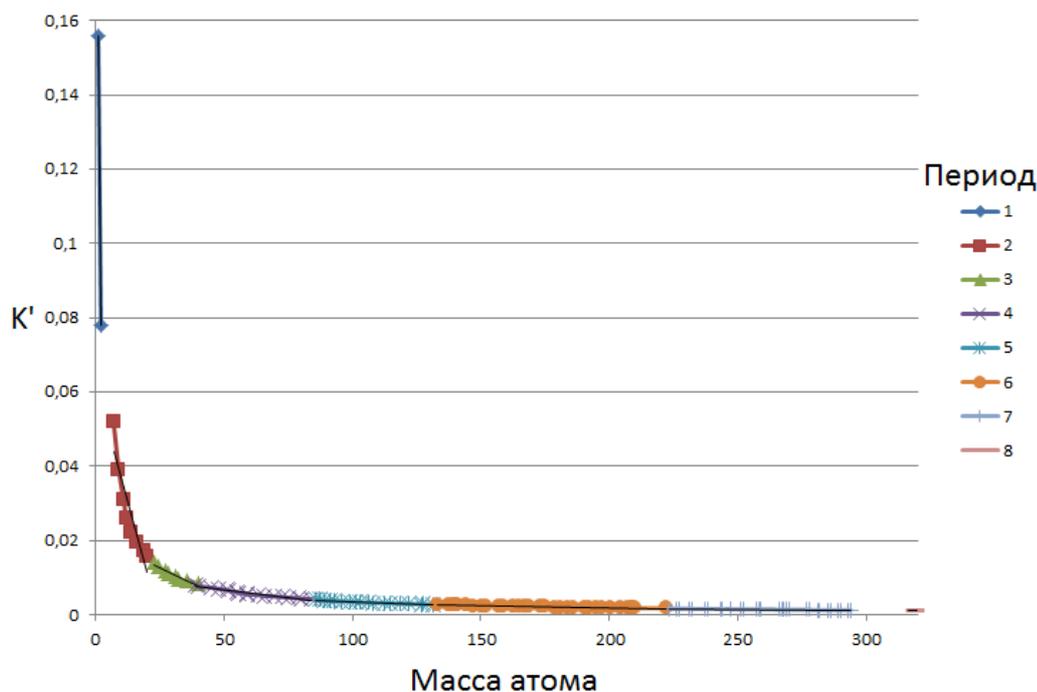


Рисунок 3. Зависимость атомного числа Кеплера от массы атома

Таблица 1. Изменения параметров уравнения  $y=kx+b$  для зависимости атомного числа Кеплера от массы атома в периодах Периодической таблицы Д.И. Менделеева

Период	Константа k	Коэффициент b	R <sup>2</sup>
1*	-0,0779	0,2337	1
2	-0,0025	0,0609	0,8566
3	-0,0003	0,0207	0,9128
4	-0,00008	0,011	0,9512
5	-0,00003	0,0064	0,9603
6	-0,00001	0,0043	0,9784
7	-0,000006	0,0032	0,9938
8*	-0,000003	0,0022	1

\* - рассчитаны для двух атомов в периоде

Таким образом, показано, что отношение атомного числа Кеплера к массе атома является постоянной величиной для каждого периода.

Атомное число Кеплера является динамическим критерием атома, численным выражением Третьего закона Кеплера, характеризующим движение электрона вокруг ядра атома.

#### 4. Выводы

Исследовано изменение атомного числа Кеплера в Периодической таблице Д.И.Менделеева. Показано, что его значения закономерно убывают с увеличением заряда ядра.

Предложена альтернативная формула вычислений значений атомного числа Кеплера ( $K' = \frac{T^2}{R^3} = \frac{4\pi^2}{R*v^2} = \frac{4*\pi^2*m_e}{k*Z*e^2} = \frac{1}{2*\pi*Z} = \frac{c^2*K''}{Z}$ ).

Показано, что отношение атомного числа Кеплера к массе атома является константой для каждого периода. Рассчитаны значения данных констант.

Получено значение атомной константы Кеплера ( $K'' = \frac{1}{2\pi c^2} = 1,771 * 10^{-18} \left[ \frac{c^4}{M^5} \right]$ ).

**Литература:**

1. Angeli I., Marinova K.P. Table of experimental nuclear ground state charge radii: An update / *Atomic Data and Nuclear Data Tables*, 2013. - Volume 99, Issue 1, p. 69-95.
2. Cordero B., Gomez V., Platero-Prats A.E., Reves M., Echeverria J., Cremades E., Barragan F., Alvarez S. Covalent radii revisited / *Dalton Transactions*, 2008. – V.1. – p. 2832–2838.
3. Долгоносов А.М. Зависимость атомного радиуса и потенциала ионизации от атомного номера, согласно теории «многокомпонентного электронного газа» // *Журнал физической химии*, 2008. – Т.82. - №12. – с.2306-2311.
4. CRC Handbook of Chemistry and Physics, 72<sup>nd</sup> ed/Ed. by D.R. Lide/ N.Y.: Chemical Rubber Co. Press, 1991.
5. Эмсли Дж. Элементы / Пер. с англ. Е.А. Краснушкиной. М.:Мир, 1993. 256 с.
6. Гордон А., Форд Р. Спутник химика / Пер. с англ. Е.Л. Розенберга, С.И. Коппель. М.Мир, 1976. 541 с.
7. Рабинович В.А., Хавин З.Я. Краткий химический справочник. СПб.: Химия, 1994. 432 с.
8. Сидоров А.А., Старченко Е.В., Матюга А.А., Кульченков Е.А. Зависимость радиусов атомов в бинарных ионных кристаллах с кубической решёткой от заряда ядра / *Учёные записки ЗабГУ*, 2013. – Т.3. - №50. – с. 93-98.
9. Урусов В. С. Теоретическая кристаллохимия. М.: Изд-во МГУ, 1987. 275 с.
10. Дей К. Теоретическая неорганическая химия. М.: Химия, 1976. 568 с.
11. Кузьмин М.А., Гаркушин И.К., Лаврентьева О.В. Математическое описание зависимости коэффициента сжимаемости, атомного и ковалентного радиусов металлов VB-группы периодической системы от заряда их ядра / *Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер. Физ.-мат. науки*, 2002. - №16. - с. 200–202.
12. Бацанов С.С. Структурная химия. Факты и зависимости. – М.: Диалог-МГУ, 2000. – 292 с.
13. Бацанов С.С. // *Неорган. матер.* – 2001. – 37. – С. 1031 – 1046.
14. Бейдер Р.В. Атомы в молекулах. – М.: Мир, 2001. – 500 с.
15. Ghanty T.K., Ghosh S.K. // *J. Phys. Chem.* – 1996. – 100. – P. 17429 – 17433.
16. Gibbs G.V., Tamada O., Boisen M.B.Jr. // *Phys. Chem. Minerals.* – 1997. – 24. – P. 432 – 439.
17. Gibbs G.V., Hill F.C., Boisen M.B.Jr. // *Ibid.* – 1998. – 25. – P. 585 – 590.
18. Ignatiev V. // *Acta Crystallogr.* – 2002. – B58. – P. 770 – 779.
19. Pendas A.M., Costales A., Luana V. // *J. Phys. Chem.* – 1998. – B102. – P. 6937 – 6948.
20. Politzer P., Murray J.S., Grice M.E. et al. // *J. Chem. Phys.* – 1991. – 95. – P. 6699 – 6703.
21. Vegas A. // *Crystallogr. Rev.* – 2000. – 7. – P. 189 – 283.
22. Игнатъев В.Д. Размеры атомов и ионов и ковалентность связи в молекулах и кристаллах / *Журнал структурной химии*, 2005. – Т.46, № 4. - С. 764 – 771.
23. Потапов А. А. Ренессанс классического атома. – М.: Издательский Дом «Наука», LAP LAMBERT Academic publishing, 2011. – 444 с.
24. Киттель Ч. и др. Механика. – М.: Наука, 1983. – 448 с.
25. Потапов А.А. Радиус атома водорода: фундаментальная константа / *Наука, техника и образование*, 2015. - №10(16). – с.7-16.
26. Зоммерфельд А. Строение атома и спектры. / Пер. с англ. А.Н. Матвеева, Б.В. Медведева. М.: ГИТТЛ, 1956. Т2. 694 с.
27. Смородинский Я. А. Планеты движутся по эллипсам // *Квант.* — 1979. — № 12. — С. 13—19.

28. Шилов Н.Н. Гидродинамическая модель планет Солнечной системы. – Красноярск, Самиздат. – 2005. – 25 с. – Рег. №16339.

29. Казаченко А.С. Взаимосвязь модели расчетов атомных радиусов и различных системных характеристик / Казаченко А.С., Казаченко А.С., Шилов Н.Н. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2017. – №09(133). – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2017/09/pdf/31.pdf>, 1,438 у.п.л. – IDA [article ID]: 1331709031. <http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-133-031>

### References:

1. Angeli I., Marinova K.P. Table of experimental nuclear ground state charge radii: An update / Atomic Data and Nuclear Data Tables, 2013. - Volume 99, Issue 1, p. 69-95.

2. Cordero B., Gomez V., Platero-Prats A.E., Reves M., Echeverria J., Cremades E., Barragan F., Alvarez S. Covalent radii revisited / Dalton Transactions, 2008. – V.1. – p. 2832–2838.

3. Dolgonosov A.M. Zavisimost' atomnogo radiusa i potenciala ionizacii ot atomnogo nomera, soglasno teorii «mnogokomponentnogo jelektronnogo gaza» // Zhurnal fizicheskoy himii, 2008. – T.82. - №12. – s.2306-2311.

4. CRC Handbook of Chemistry and Physics, 72nd ed/Ed. by D.R. Lide/ N.Y.: Chemical Rubber Co. Press, 1991.

5. Jemslj Dzh. Jelementy / Per. s angl. E.A. Krasnushkinoj. M.:Mir, 1993. 256 s.

6. Gordon A., Ford R. Sputnik himika / Per. s angl. E.L. Rozenberga, S.I. Koppel'. M.Mir, 1976. 541 s.

7. Rabinovich V.A., Havin Z.Ja. Kratkij himicheskij spravochnik. SPb.: Himija, 1994. 432 s.

8. Sidorov A.A., Starchenko E.V., Matjuga A.A., Kul'chenkov E.A. Zavisimost' radiusov atomov v binarnyh ionnyh kristallah s kubicheskoj reshjotkoj ot zarjada jadra / Uchjonye zapiski ZabGU, 2013. – T.3. - №50. – s. 93-98.

9. Urusov V. S. Teoreticheskaja kristallohimija. M.: Izd-vo MGU, 1987. 275 s.

10. Dej K. Teoreticheskaja neorganicheskaja himija. M.: Himija, 1976. 568 s.

11. Kuz'min M.A., Garkushin I.K., Lavrent'eva O.V. Matematicheskoe opisanie zavisimosti koeficienta szhimaemosti, atomnogo i kovalentnogo radiusov metallov VB-gruppy periodicheskoy sistemy ot zarjada ih jadra / Vestn. Sam. gos. tehn. un-ta. Ser. Fiz.-mat. nauki, 2002. - №16. - s. 200–202.

12. Bacanov S.S. Strukturnaja himija. Fakty i zavisimosti. – M.: Dialog-MGU, 2000. – 292 s.

13. Bacanov S.S. // Neorgan. mater. – 2001. – 37. – S. 1031 – 1046.

14. Bejder R.V. Atomy v molekulah. – M.: Mir, 2001. – 500 s.

15. Ghanty T.K., Ghosh S.K. // J. Phys. Chem. – 1996. – 100. – P. 17429 – 17433.

16. Gibbs G.V., Tamada O., Boisen M.B.Jr. // Phys. Chem. Minerals. – 1997. – 24. – P. 432 – 439.

17. Gibbs G.V., Hill F.C., Boisen M.B.Jr. // Ibid. – 1998. – 25. – P. 585 – 590.

18. Ignatiev V. // Acta Crystallogr. – 2002. – B58. – P. 770 – 779.

19. Pendas A.M., Costales A., Luana V. // J. Phys. Chem. – 1998. – B102. – P. 6937 – 6948.

20. Politzer P., Murray J.S., Grice M.E. et al. // J. Chem. Phys. – 1991. – 95. – R. 6699 – 6703.

21. Vegas A. // Crystallogr. Rev. – 2000. – 7. – P. 189 – 283.

22. Ignat'ev V.D. Razmery atomov i ionov i kovalentnost' svyazi v molekulah i kristallah / Zhurnal strukturnoj himii, 2005. – T.46, № 4. - S. 764 – 771.
23. Potapov A. A. Renessans klassicheskogo atoma. – M.: Izdatel'skij Dom «Nauka», LAP LAMBERT Academic publishing, 2011. – 444 s.
24. Kittel' Ch. i dr. Mehanika. – M.: Nauka, 1983. – 448 s.
25. Potapov A.A. Radius atoma vodoroda: fundamental'naja konstanta / Nauka, tehnika i obrazovanie, 2015. - №10(16). – s.7-16.
26. Zommerfel'd A. Stroenie atoma i spektry. / Per. s angl. A.N. Matveeva, B.V. Medvedeva. M.: GITTL, 1956. T2. 694 s.
27. Smorodinskij Ja. A. Planety dvizhutsja po jellipsam // Kvant. — 1979. — № 12. — S. 13—19.
28. Shilov N.N. Gidrodinamicheskaja model' planet Solnechnoj sistemy. – Krasnojarsk, Samizdat. – 2005. – 25 s. – Reg. №16339.
29. Kazachenko A.S. Vzaimosvjaz' modeli raschetov atomnyh radiusov i razlichnyh sistemnyh harakteristik / Kazachenko A.S., Kazachenko A.S., Shilov N.N. // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2017. – №09(133). – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2017/09/pdf/31.pdf>, 1,438 u.p.l. – IDA [article ID]: 1331709031. <http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-133-031>