

Аморфные и микрокристаллические полупроводники

Международная конференция AMS14

30 июня - 3 июля 2025 г.

Санкт-Петербургский Академический университет им. Ж. И. Алфорова

В. Наноструктурированные, пористые и кластерные материалы

О проводимости графена

Георгий П. Шпеньков

g.shpenkov@gmail.com

<https://shpenkov.com/pdf/Graphene.pdf>

[A.H. Castro Neto, F. Guinea, N. M. R. Peres, K. S. Novoselov and A. K. Geim, *The electronic properties of graphene*, Rev. Mod. Phys. 81, 2009]

“Graphene...is an interesting mix of a semiconductor...and a metal”

“Electrons in graphene ... have very long mean free paths”

[Tsuneya Ando, *The electronic properties of graphene and carbon nanotubes*, Review, NPG Asia Materials (2009) 1, 17–21; doi:10.1038/asiamat.2009.1]

Carbon *“Nanotubes can be metallic or semiconducting,...”*

Природа обнаруженных уникальных особенностей проводимости графена была **раскрыта** в рамках теорий

Волновой Модели

Волновая Модель

(ВМ) - новая общая теория физики. Базируется на:

- 1. Диалектической философии и диалектической логике (диалектике).*
- 2. Аксиоме о волновой природе всех явлений и объектов во Вселенной.*

Включает две теории (модели):

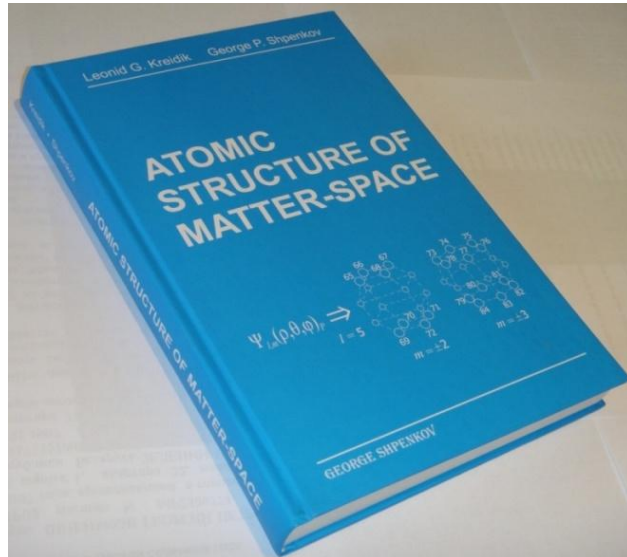
- 1. Динамическую модель элементарных частиц.*
- 2. Оболочечно-узловую модель атомов.*

ВМ описана подробно в:

КНИГЕ

[L. G. Kreidik and G. P. Shpenkov, *Atomic Structure of Matter-Space*, Geo. S., Bydgoszcz, 2001, 584 p.]

<http://shpenkov.com/atom.html>



ЛЕКЦИЯХ

[G. P. Shpenkov, *Dialectical View of the World. The Wave Model* (Selected Lectures); Volumes 1-6]

<http://shpenkov.com/pdf/Vol.1.Dialectics.pdf>

[... /Vol.2.DynamicModel-1.pdf](http://shpenkov.com/pdf/Vol.2.DynamicModel-1.pdf)

[... /Vol.3.DynamicModel-2.pdf](http://shpenkov.com/pdf/Vol.3.DynamicModel-2.pdf)

[... /Vol.4.PhysicalUnits.pdf](http://shpenkov.com/pdf/Vol.4.PhysicalUnits.pdf)

[... /Vol.5.Shell-NodalAtomicStructure.pdf](http://shpenkov.com/pdf/Vol.5.Shell-NodalAtomicStructure.pdf)

[... /Vol.6.TopicalIssues.pdf](http://shpenkov.com/pdf/Vol.6.TopicalIssues.pdf)

Строение атомов,

имеющих волновую природу. в соответствии с основной аксиомой ВМ о волновой природе всех объектов и явлений во Вселенной,

описывается

развитыми методами физики волн и, в частности,

волновым уравнением

$$\Delta \hat{\Psi} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \hat{\Psi}}{\partial t^2} = 0 \quad (1)$$

Частное решение уравнение (1) имеет вид

$$\hat{\Psi}(\rho, \theta, \varphi; t) = \hat{\psi}(\rho, \theta, \varphi) e^{\pm i\omega t} \quad (2)$$

Решение (2) описывает стоячие волны в сферическом пространстве.

Пространственный компонент частного решения (2)

$$\hat{\psi}(\rho, \theta, \varphi) = A\hat{R}_l(\rho)\Theta_{l,m}(\theta)\hat{\Phi}_m(\varphi) \quad (3)$$

определяет оболочечно-узловую структуру стоячих волн в сферическом пространстве (т. е. геометрию расположения узлов и пучностей) и,

КАК ВЫЯСНИЛОСЬ НАМИ,

оболочечно-узловую структуру “атомов”
(пространственное расположение нуклонов в атомах)

!

Истинными атомами,

как следует из анализа полученных решений,
являются лишь нуклоны:

протон, нейтрон и протий.

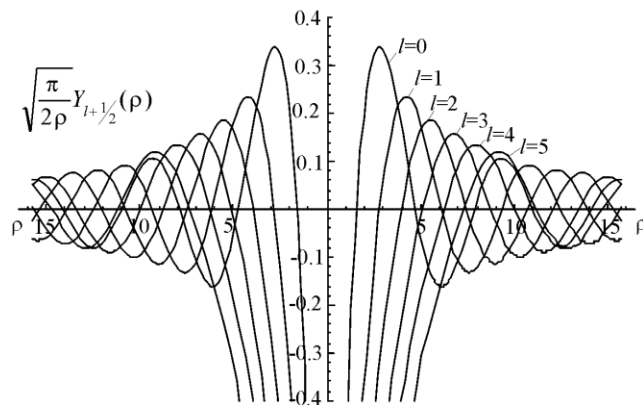
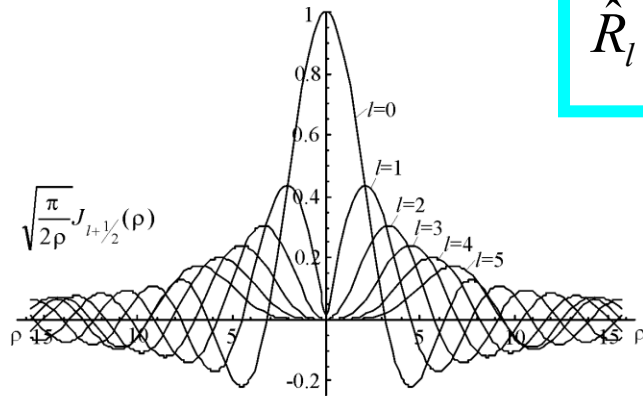
Остальные “**атомы**” Периодической системы элементов являются

Элементарными нуклонными молекулами!

Радиальный компонент $\hat{R}_l(\rho)$

решения (3) имеет вид:

$$\hat{R}_l(\rho) = A\sqrt{\pi/2\rho}(J_{l+1/2}(\rho) \pm iY_{l+1/2}(\rho)) \quad (4)$$



A – постоянный множитель;
 $l = 0, 1, 2, \dots$; $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm l$

Решениями $\hat{R}_l(\rho)$ являются корни $Z_{\nu,q}$ (нули и экстремальные значения) функций Бесселя J и Y ; $\nu = l + 1/2$ – порядок функций, q – значение нуля или экстремума.

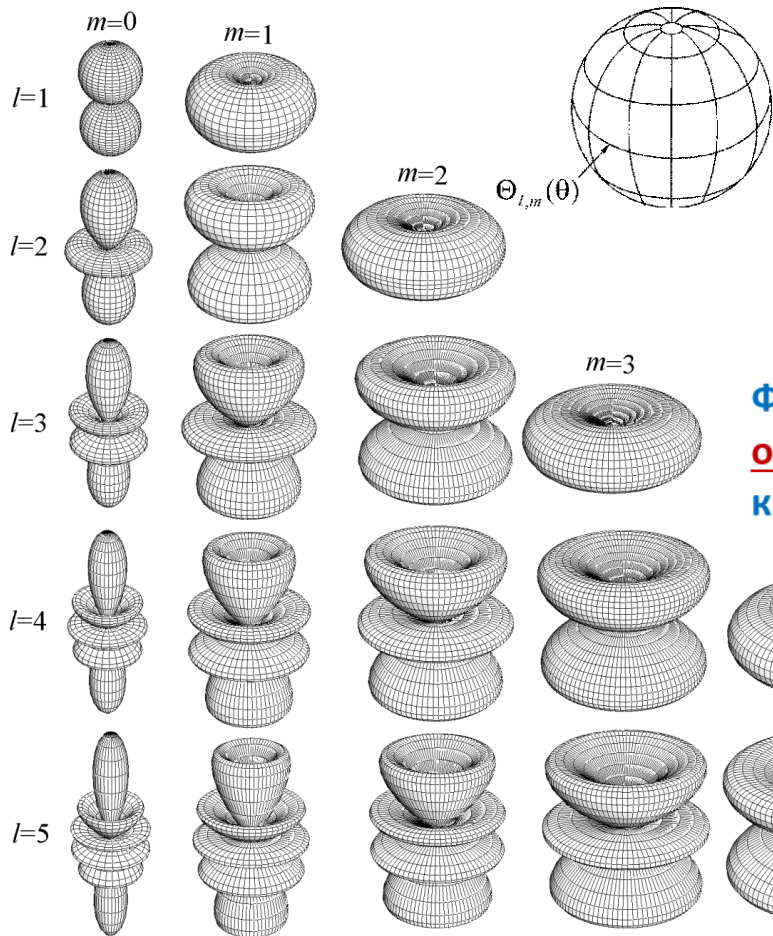
$\hat{R}_l(\rho)$ определяет радиусы $r_{\nu,q}$ характеристических волновых оболочек, потенциальных и кинетических, на которых находятся узлы и пучности, соответственно, поскольку $Z_{\nu,q} = \rho_{\nu,q} = kr_{\nu,q}$, где $k = \omega_e / c$ и ω_e – фундаментальная частота волнового обмена (взаимодействия) на атомном и субатомном уровнях.

Графики полярных функций

$$|\Theta_{l,m}(\theta)| = C_{l,m} \cdot P_{l,m}(\cos\theta) \quad (5)$$

$$P_{l,m}(\cos\theta) = \frac{\sin^m \theta}{2^l l!} \frac{d^{l+m}}{d(\cos\theta)^{l+m}} (\cos^2 \theta - 1)^l$$

$P_{l,m}$ - Присоединённые функции Лежандра



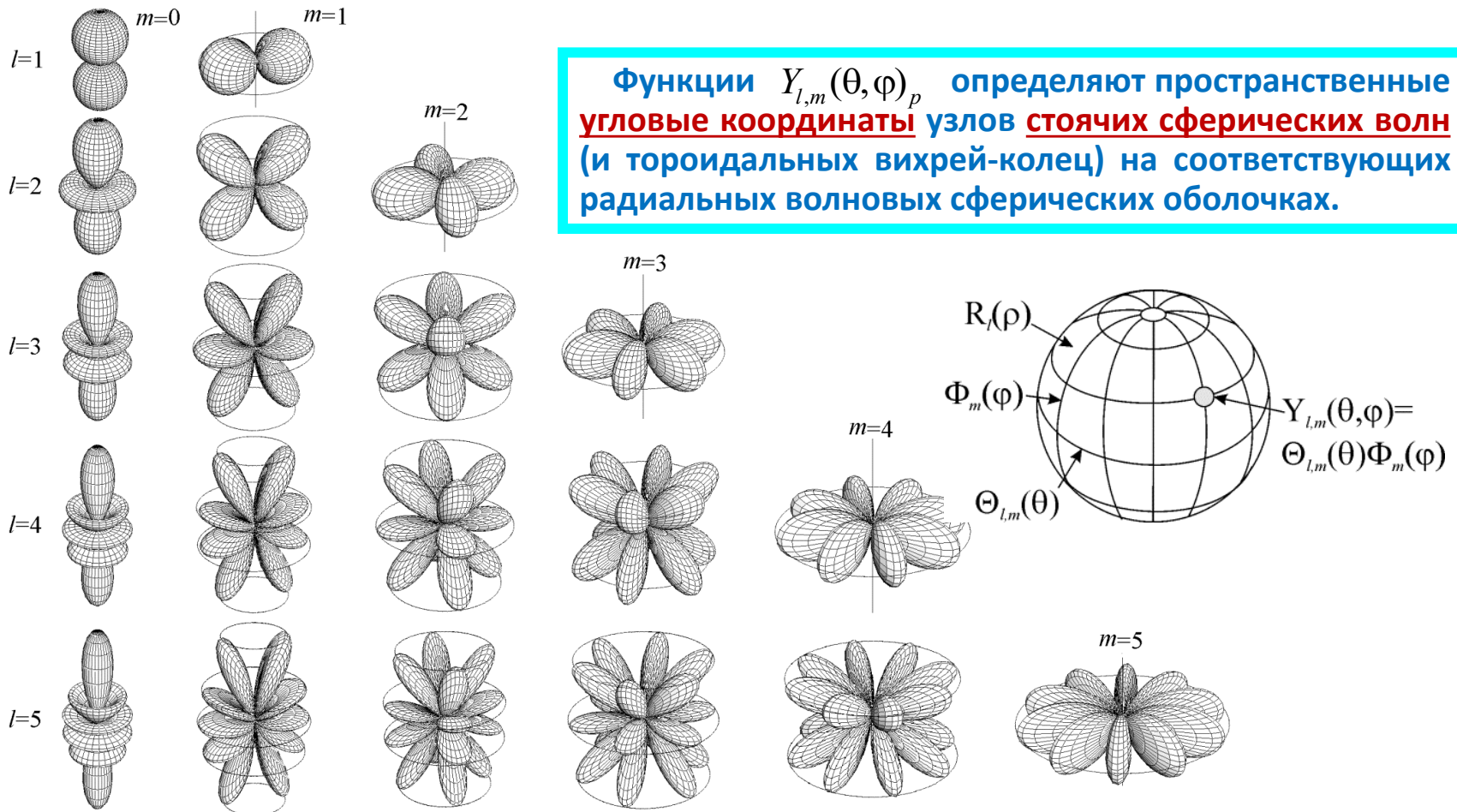
Полярные функции $\Theta_{l,m}(\theta)$ определяют характеристические параллели расположения нулей (узлов) и экстремумов (пучностей) на радиальных волновых сферических оболочках.

Важное замечание!

Функции $\Theta_{l,m}$ не имеют ничего общего с “атомными орбиталями”. Это понятие было приписано в квантовой механике субъективно некоторым функциям (при $l=1$ и $l=2$), а также фигурам, образующимся при вращении их сечений и комбинации с ними, названной гибридизацией атомных орбиталей”.

Графики полярно-азимутальных функций

$$Y_{l,m}(\theta, \varphi)_p = |\Theta_{l,m}(\theta) \text{Cos} m\varphi| \quad (\text{потенциальная составляющая}) \quad (6)$$



Потенциальный компонент ψ_p частного решения (3) имеет вид:

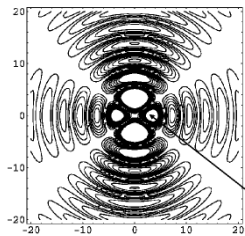
$$\psi_p = A \sqrt{\frac{\pi}{2\rho}} J_{l+1/2}(\rho) \Theta_{l,m}(\theta) \cos(m\varphi + \alpha)$$

(α - начальная фаза азимутального состояния; $l = 0, 1, 2, \dots$; $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm l$) (7)

Определяет оболочечно-узловую структуру стоячих волн в сферическом пространстве.

Оболочки (l) и подоболочки (m):

Решение для $l=2, m=0$ (сечение $x=0$)

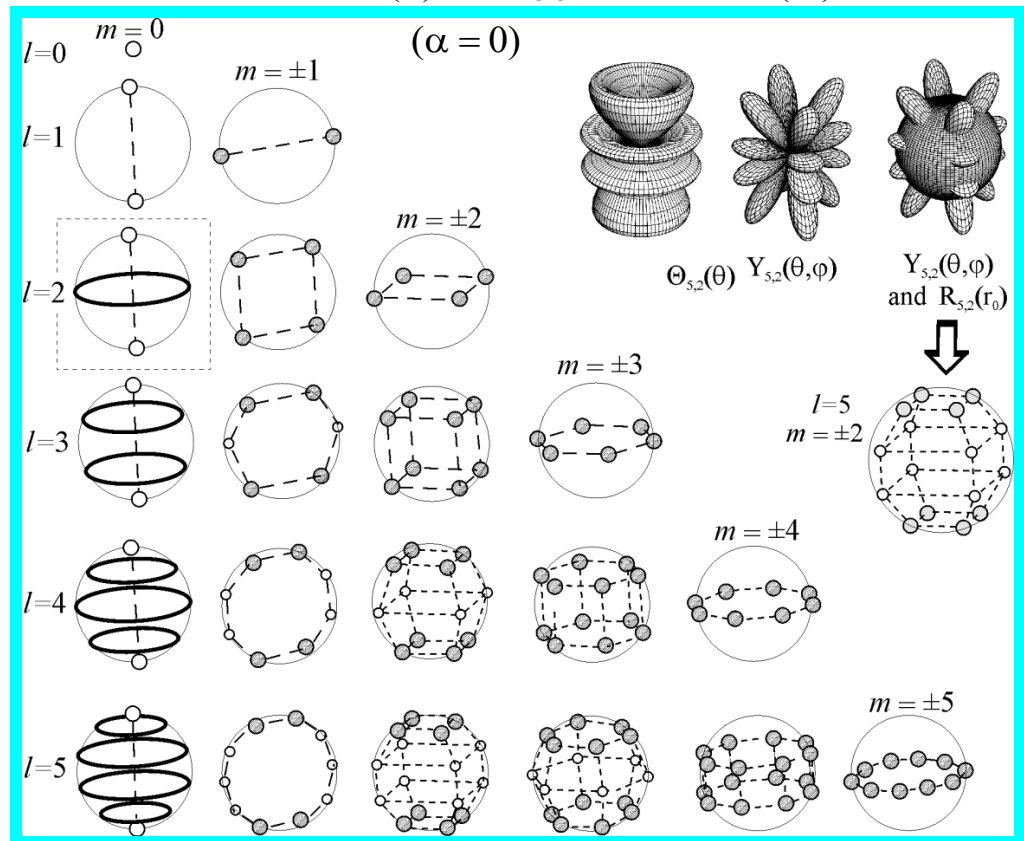


toroid-vortex

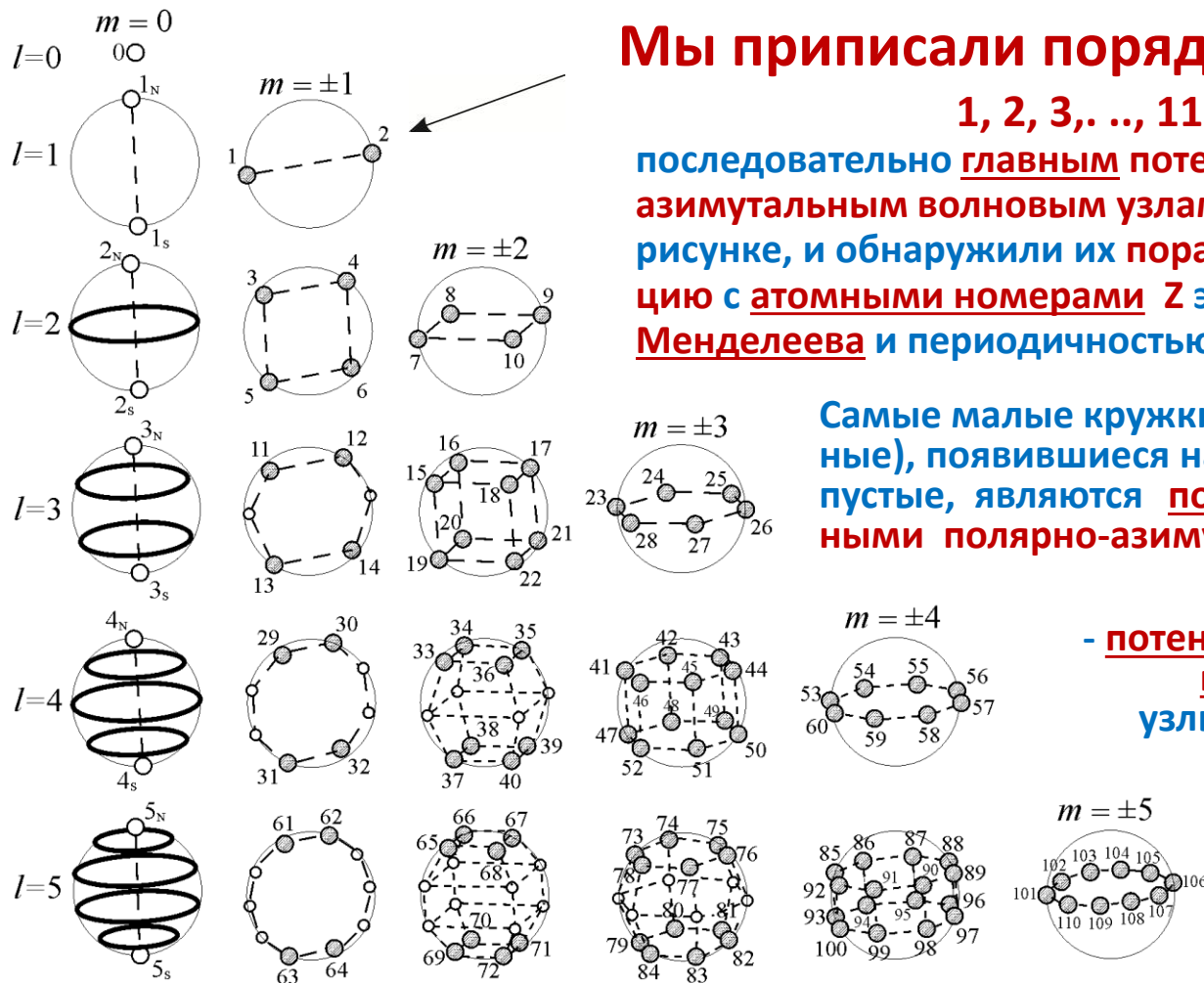
Схематическое представление решения (7), впервые сделанное в 1990th [6], стало ключевым.

Оно привело нас к открытию оболочечно-узловому строению "атомов". Это значит, что «атомы», будучи волновыми образованиями, являются в действительности

Элементарными нуклонными молекулами



Как мы пришли к открытию:



Мы приписали порядковые номера 1, 2, 3, ..., 110,...

последовательно главным потенциальным полярно-азимутальным волновым узлом, как показано на рисунке, и обнаружили их поразительную корреляцию с атомными номерами Z Таблицы Менделеева и периодичностью их расположения.

Самые малые кружки (o) (непронумерованные), появившиеся начиная с $l=3$ и $m=\pm 1$, пустые, являются побочными потенциальными полярно-азимутальными узлами.

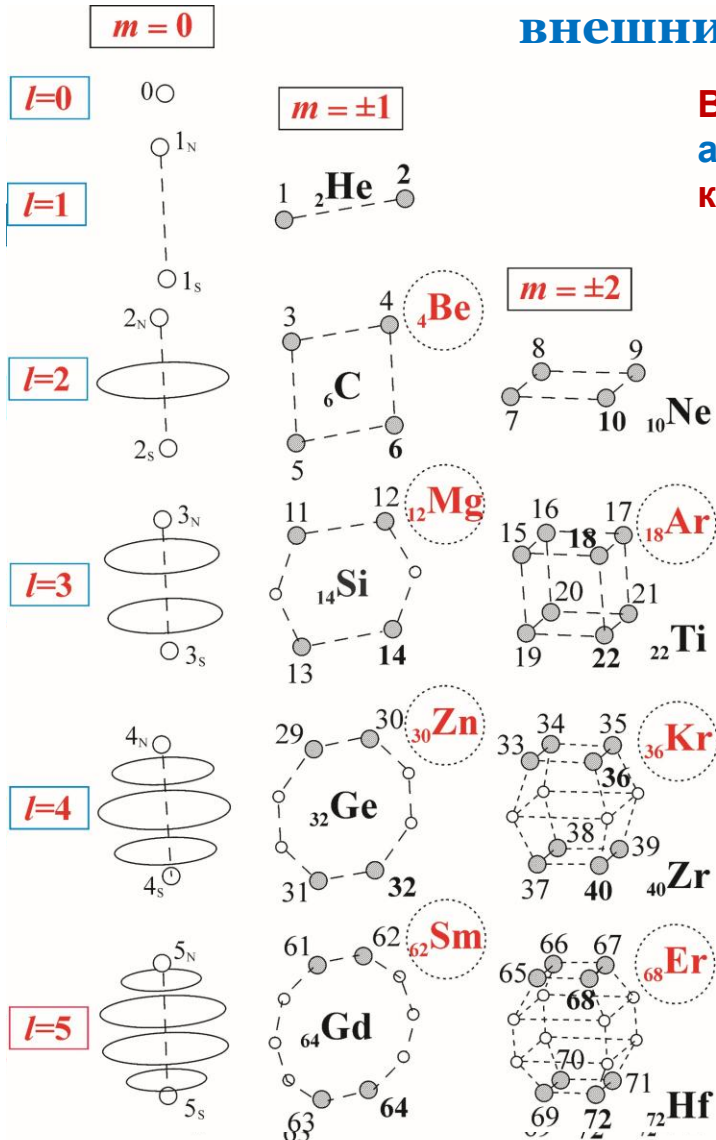
0, 1_N , 1_S , ..., 5_N , 5_S - потенциально-кинетические полярные узлы - узлы покоя и движения одновременно.

Анализируя характеристические особенности решений, представленных таким образом (с пронумерованными узлами), мы убедились в конце концов, что они действительно содержат информацию об оболочечно-узловом (молекулярно-подобном) строении "атомов".

Элементарные нуклонные молекулы

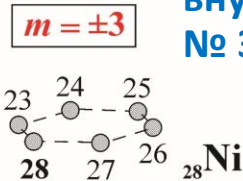
“Атомы”, имеющие полностью и наполовину заполненные внешние волновые оболочки

В каждом главном потенциальном полярно-азимутальном узле находится по 2 водородных атома, к которым мы относим протон, нейтрон и протий.



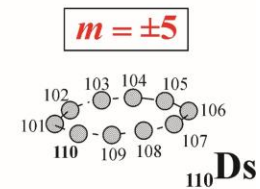
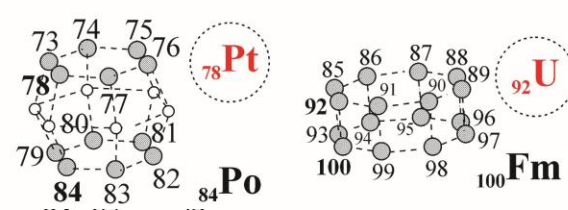
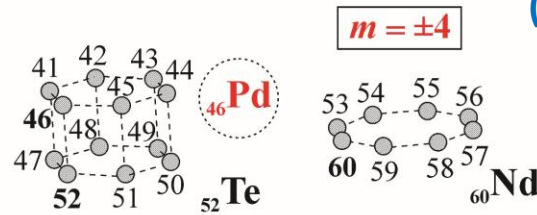
²He имеет в 2 узлах (№ 1 и 2)
4 водородных атома (2x2).

⁶C имеет в 6 узлах на 2 оболочках:
внутренней (узлы № 1, 2) и внешней (узлы № 3, 4, 5, 6), 12 водородных атомов (6x2).



Полуцелые внешние оболочки имеют следующие “атомы” (обведены кружками):

⁴Be, ¹²Mg, ³⁰Zn, ⁶²Sm,
¹⁸Ar, ³⁶Kr, ⁶⁸Er,
⁴⁶Pd, ⁷⁸Pt,
⁹²U



Не целые решения

$$l = m = s/2, \quad s \in \mathbb{N},$$

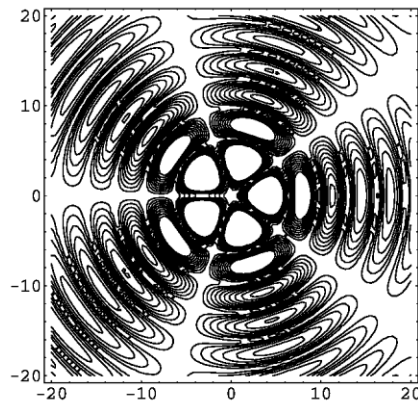
соответствуют **промежуточным состояниям**. Они определяют незаполненные полностью внешние оболочки и подоболочки: **наполовину** заполненные и **частично** заполненные. Последние, не отмеченные на предыдущем слайде, имеют такие «атомы», как: ${}_3\text{Li}$, ${}_4\text{Be}$, ${}_5\text{B}$, ${}_7\text{N}$, ${}_8\text{O}$, ${}_9\text{F}$, и т. д.

$$\hat{\psi} = A \sqrt{\frac{\pi}{2\rho}} \left(J_{\frac{s}{2} + \frac{1}{2}}(\rho) \pm i Y_{\frac{s}{2} + \frac{1}{2}}(\rho) \right) \sin^{\frac{s}{2}} \theta \left(\cos \frac{s}{2} \varphi \pm i \sin \frac{s}{2} \varphi \right)$$

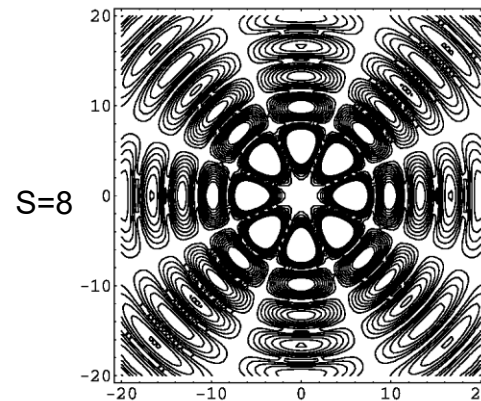
Нули и экстремумы **не целых решений** (узлы и пучности) лежат в **экваториальной плоскости** ($z=0$); они обладают **симметрией любого порядка**, в том числе, запрещённой математическими законами кристаллографии. Вот два примера.

Контурные графики сечений для потенциальной составляющей решений, определяемой функцией:

$$\frac{J_{\frac{s}{2} + \frac{1}{2}}(\rho)}{\sqrt{\rho}} \sin^{\frac{s}{2}} \theta \cos\left(\frac{s}{2} \varphi\right)$$



S=5



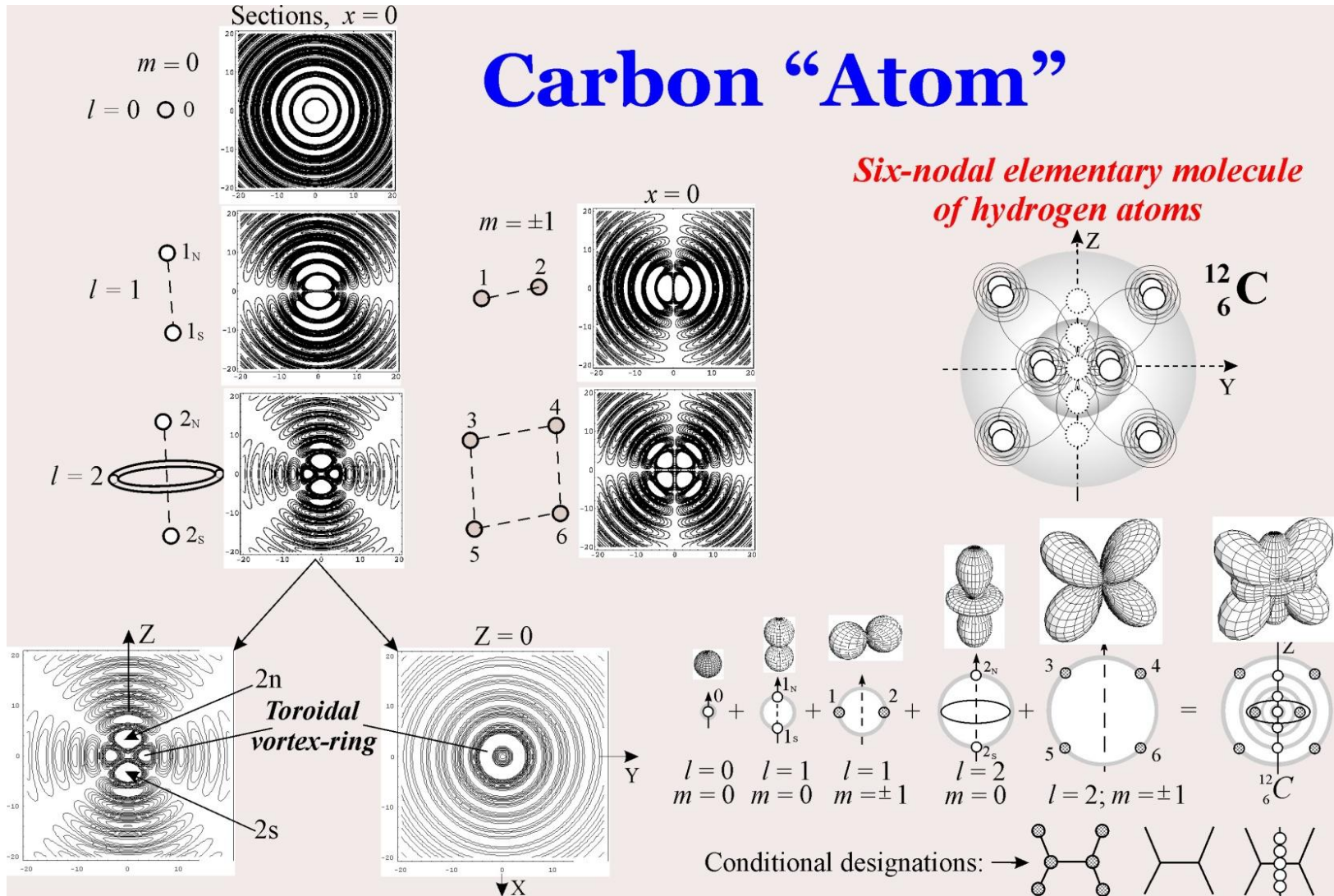
S=8

Экваториальное распределение узлов в симметриях пятого и восьмого порядка.

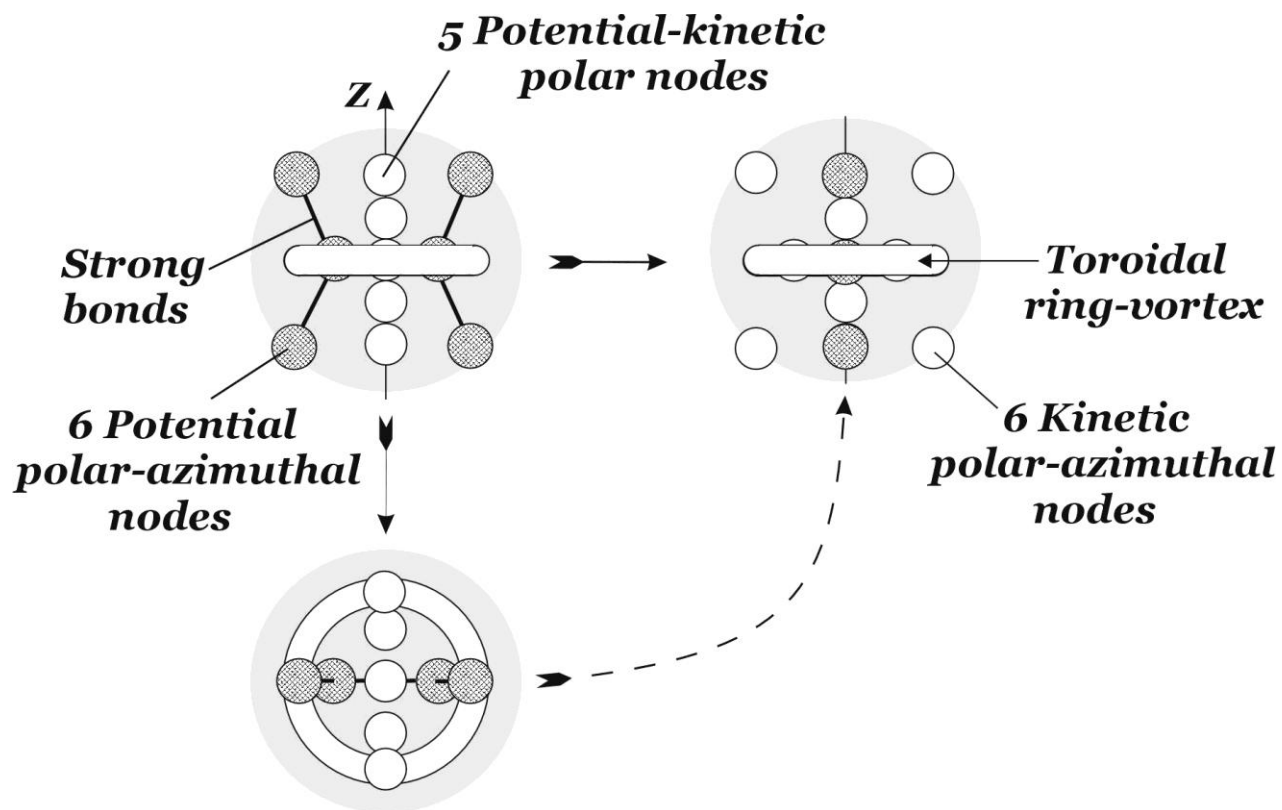
Строение шестиузловой элементарной молекулы водородных атомов – “атома” углерода $^{12}_6\text{C}$

Carbon “Atom”

*Six-nodal elementary molecule
of hydrogen atoms*



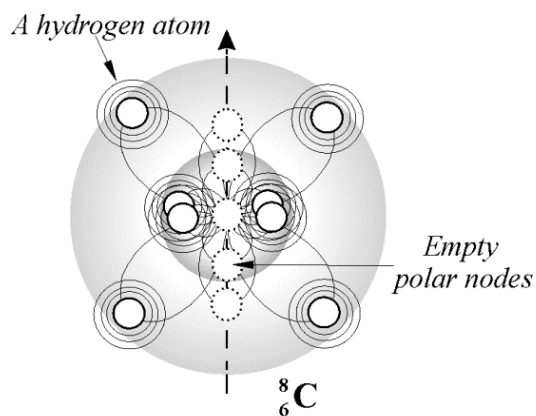
Шестиузловая молекула водородных атомов (“атом” углерода $^{12}_6\text{C}$)



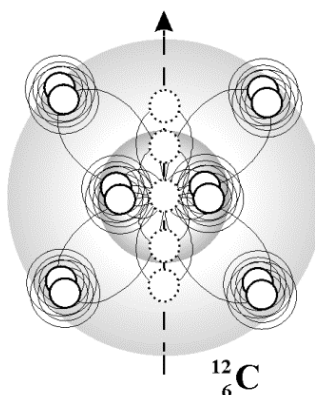
Раскрыта:

Природа происхождения и структура всех “атомных” изотопов

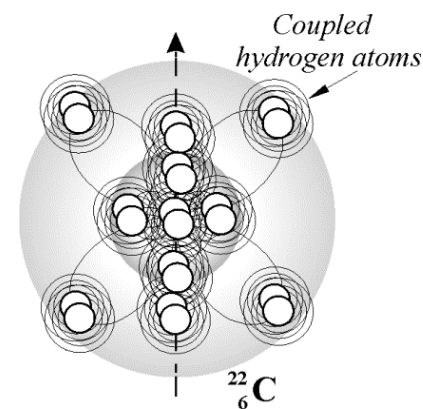
Стабильный и два предельных короткоживущих изотопа углерода



Самый лёгкий
самый нестабильный изотоп
(период полураспада 2.0×10^{-21} s)



Стабильный



Самый тяжёлый
(период полураспада 6.2×10^{-3} s)

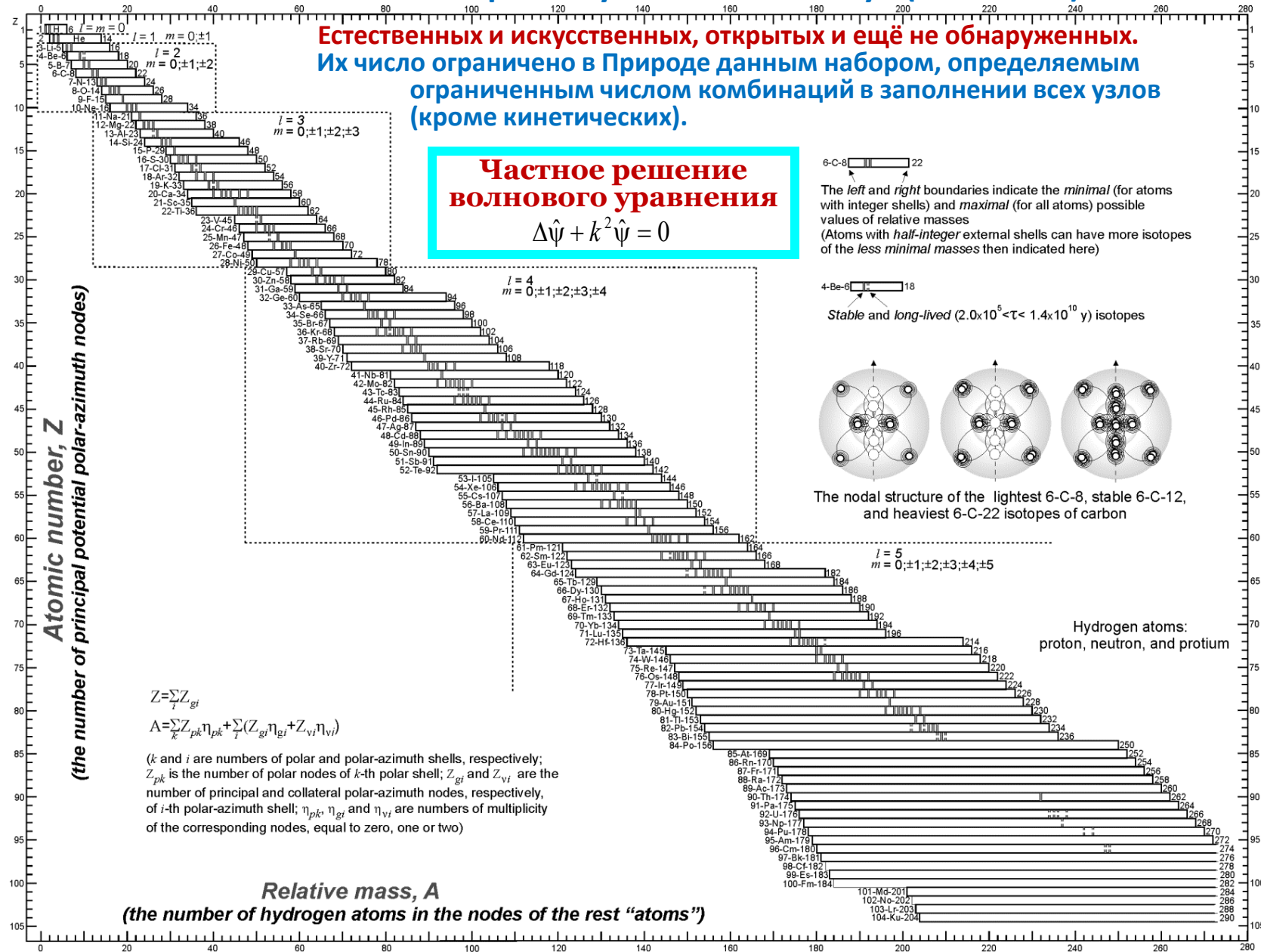
Это одно из ключевых из серии производных открытий, вытекающих из открытия оболочно-узловое строения “атомов”, непосредственно подтверждающее реальность последнего.

Изотопы элементарных нуклонных молекул («атомов»)

Естественных и искусственных, открытых и ещё не обнаруженных.
Их число ограничено в Природе данным набором, определяемым
ограниченным числом комбинаций в заполнении всех узлов
(кроме кинетических).

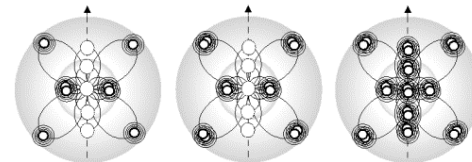
Частное решение
волнового уравнения

$$\Delta \hat{\psi} + k^2 \hat{\psi} = 0$$



6-C-6 $\left[\begin{array}{|c|} \hline \text{---} \\ \hline \end{array} \right] 22$
 The left and right boundaries indicate the *minimal* (for atoms with integer shells) and *maximal* (for all atoms) possible values of relative masses (Atoms with *half-integer* external shells can have more isotopes of the *less minimal* masses then indicated here)

4-Be-6 $\left[\begin{array}{|c|} \hline \text{---} \\ \hline \end{array} \right] 18$
 Stable and long-lived ($2.0 \times 10^5 < \tau < 1.4 \times 10^{10}$ y) isotopes



The nodal structure of the lightest 6-C-6, stable 6-C-12, and heaviest 6-C-22 isotopes of carbon

$l = 5$
 $m = 0; \pm 1; \pm 2; \pm 3; \pm 4; \pm 5$

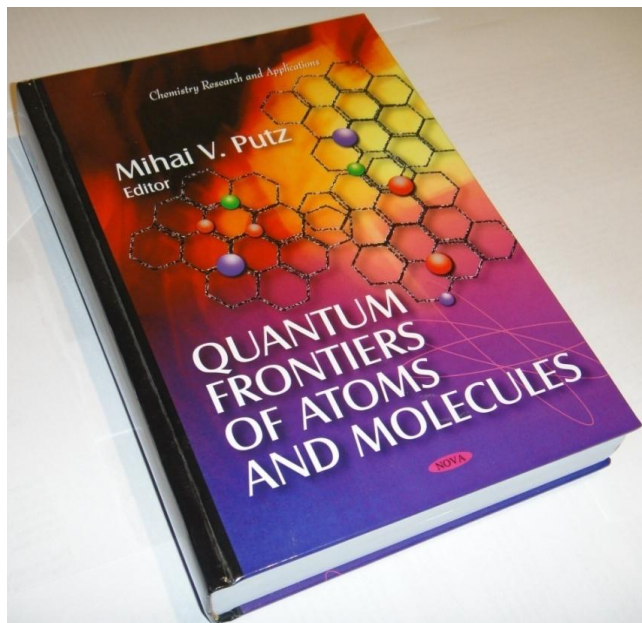
Hydrogen atoms:
 proton, neutron, and protium

$$Z = \sum_{gi} Z_{gi}$$

$$A = \sum_k Z_{pk} \eta_{pk} + \sum_i (Z_{gi} \eta_{gi} + Z_{vi} \eta_{vi})$$

(k and i are numbers of polar and polar-azimuth shells, respectively; Z_{pk} is the number of polar nodes of k -th polar shell; Z_{gi} and Z_{vi} are number of principal and collateral polar-azimuth nodes, respectively, of i -th polar-azimuth shell; η_{pk} , η_{gi} and η_{vi} are numbers of multiplicity of the corresponding nodes, equal to zero, one or two)

Relative mass, A
(the number of hydrogen atoms in the nodes of the rest "atoms")



[G. P. Shpenkov, *Physics and Chemistry of Carbon in the Light of Shell-Nodal Atomic Model*, Chapter 12 in "*Quantum Frontiers of Atoms and Molecules*", edited by Putz M. V., NOVA SCIENCE PUBLISHERS, NY, 277-323, 2011]

Цветной вариант **Таблицы Изотопов (2001 года)**
доступен онлайн на
<http://shpenkov.com/pdf/isotopes.pdf>

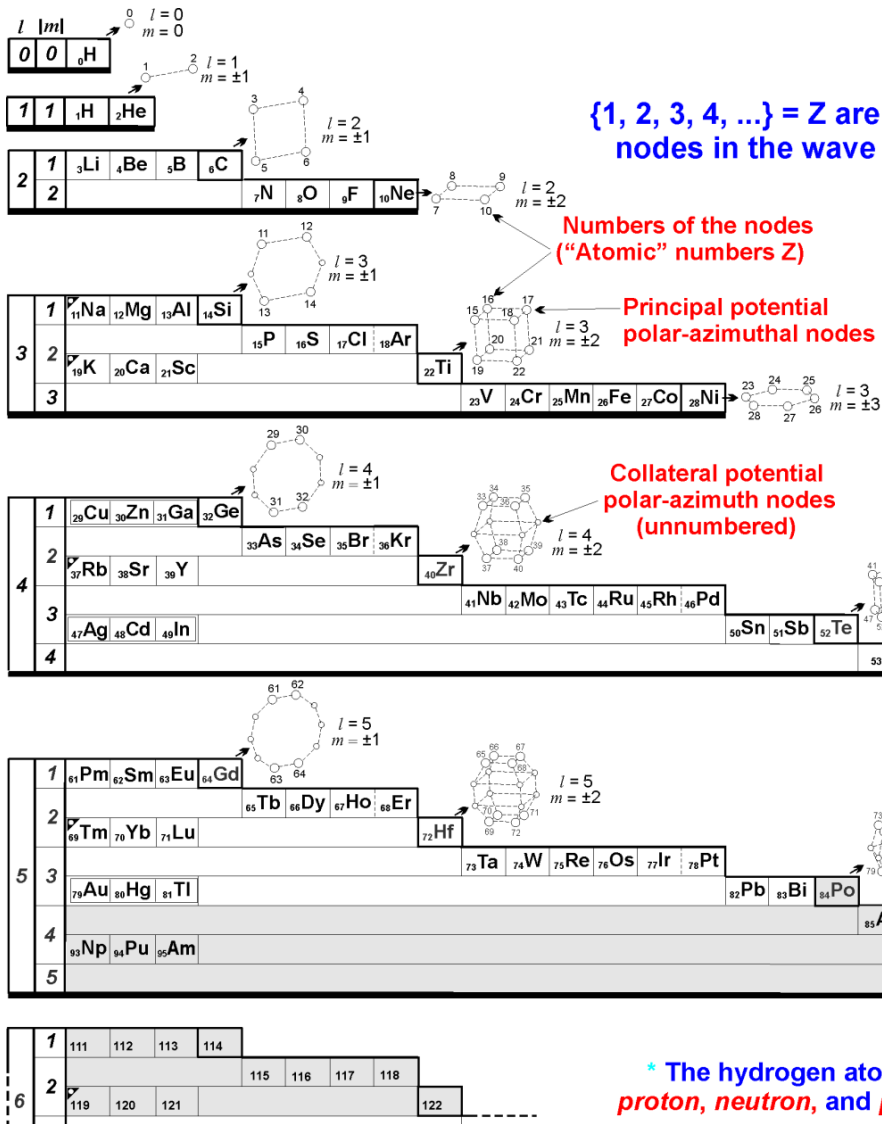
Построена теоретическая Периодическая система химических элементов

Раскрыта, таким образом:

Изначальная причина существующего подобия в физических и химических свойствах элементов, которой является:

**квазиподобие строения
внешних волновых сферических оболочек «атомов».**

Периодическая система химических элементов (элементарных нуклонных молекул – “атомов”)



{1, 2, 3, 4, ...} = Z are numbers of the principal potential polar-azimuthal nodes in the wave shells of the “atoms” (“Atomic” number)

Numbers of the nodes (“Atomic” numbers Z)

Principal potential polar-azimuthal nodes

Collateral potential polar-azimuthal nodes (unnumbered)

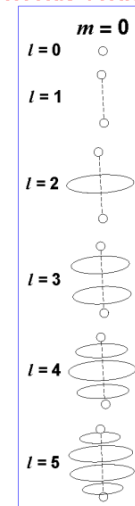
Particular time-independent solutions of Eq. $\Delta \hat{\Psi} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \hat{\Psi}}{\partial t^2} = 0$

Atoms with completely filled external wave shells

2He			
6C	10Ne		
14Si	22Ti	28Ni	
32Ge	40Zr	52Te	60Nd
64Gd	72Hf	84Po	100Fm
			110Ds

← unstable elements

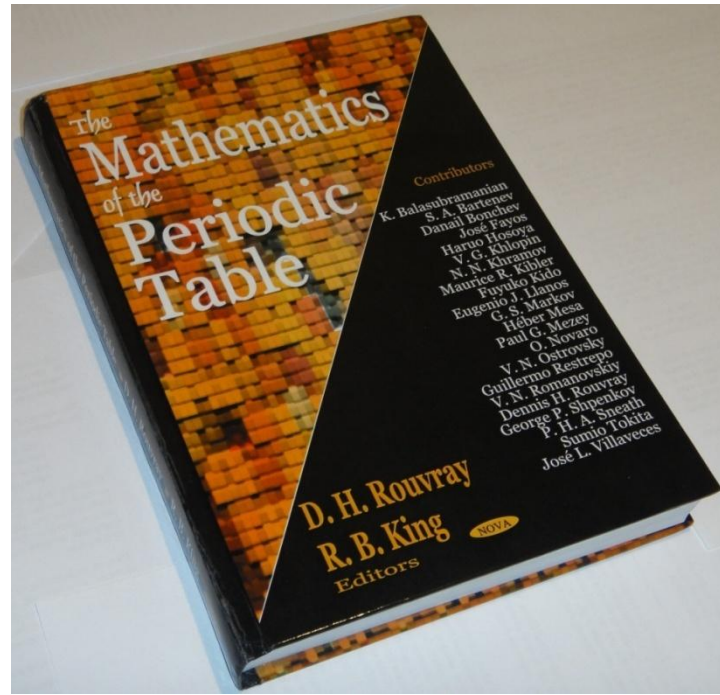
Polar nodes and toroids-vortices



[1] *Alternative Picture of the World*, V. 1-3, (1996); [2] *Foundations of Physics*, (1998); [3] *Atomic Structure of Matter-Space*, (2001); Geo. S., Bydgoszcz by L. Kreidik and G. Shpenkov.

The Shell Structure of Matter Spaces, <http://shpenkov.janmax.com/ShellStr.pdf>

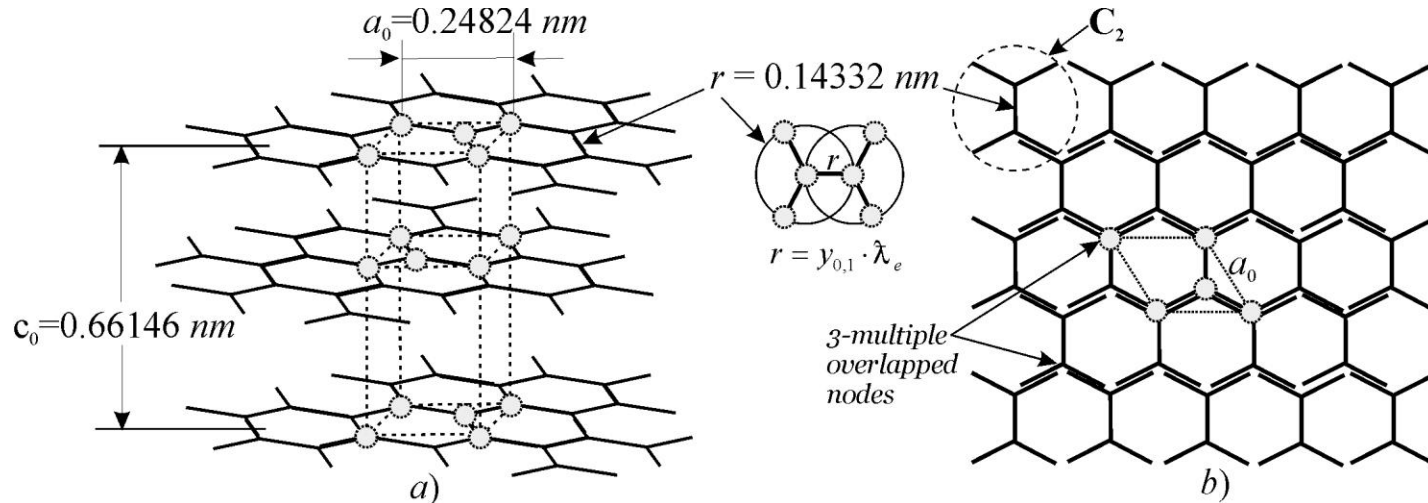
Copyright © 2001, 2016 George P. Shpenkov



[G. P. Shpenkov, *An Elucidation of the Nature of the Periodic Law*, Chapter 7 in "*The Mathematics of the Periodic Table*", edited by Rouvray D. H. and King R. B., NOVA SCIENCE PUBLISHERS, NY, 119-160, 2006]

Цветной вариант Периодической Таблицы (2001 года)
доступен онлайн на <http://shpenkov.com/pdf/placard.pdf>

Элементарная ячейка и структура графита и его одноатомного слоя – графена



Согласно ВМ, длина связей в графите определяется произведением $r = y_{0,1} \cdot \tilde{\lambda}_e$, где $y_{0,1}$ - корень функций Бесселя [9] ($y_{0,1} = 0.89357697$) и $\tilde{\lambda}_e = \omega_e / c = 1.603886538 \cdot 10^{-8} \text{ cm}$

$$n = (1\frac{1}{6} \times 2 + 1\frac{2}{3}) = 4 \text{ nodes per unit cell}, V = n \cdot 12.0107 \cdot m_u / \rho = 35.29953318 \cdot 10^{-24} \text{ cm}^3,$$

$$m_u = 1.660539040 \cdot 10^{-24} \text{ g}, \rho = 2.26 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}, a_0 = \sqrt{3}r, c_0 = V \cdot 2 / a_0^2 \sqrt{3} = 6.614634572 \cdot 10^{-8} \text{ cm}$$

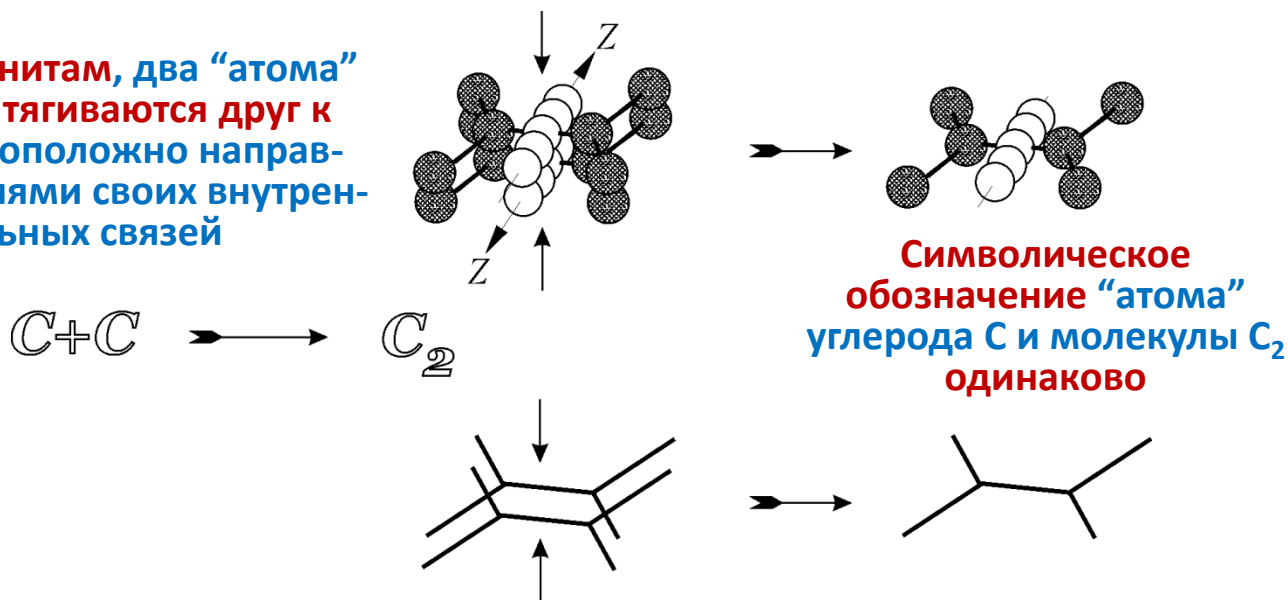
Постоянные решётки a_0 и c_0 , рассчитанные, как показано выше, близки к постоянным решётки графита (при 300 K), известным из литературы. Расчётные данные соответствуют графиту, состоящего из C_2 - димеров углерода, имеющего оболочечно-узловое строение.

Таким образом,
 “строительными блоками” графита, а следовательно, графена являются димеры углерода C_2 .

Схема образования молекулы C_2

C_2 образуется путём **перекрывтия** пар узлов и тороидальных колец-вихрей (не показаны на схеме) двух сближающихся шести-узловых элементарных молекул водородных атомов (двух “атомов” углерода), как показано на схеме:

Подобно магнитам, два “атома” углерода притягиваются друг к другу противоположно направленными полями своих внутренних межузельных связей



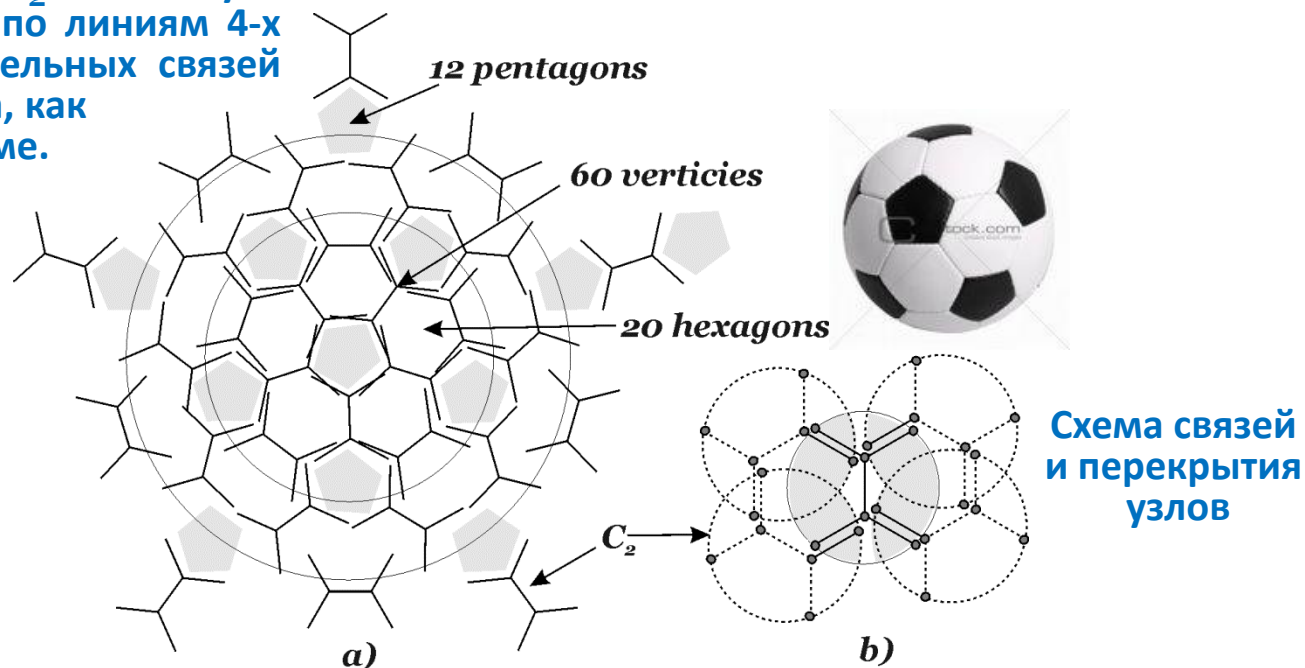
[H. C. Shih, et al., *Diamond and Related Materials*, 2, 531 (1993)]:

“... C_2 radical was considered to be responsible for the formation of graphite”

Бакминстерфуллерен (C_{60})

образуется из 30 димеров углерода C_2 :

Связь димеров C_2 в молекуле осуществляется по линиям 4-х внешних межузельных связей каждого димера, как показано на схеме.



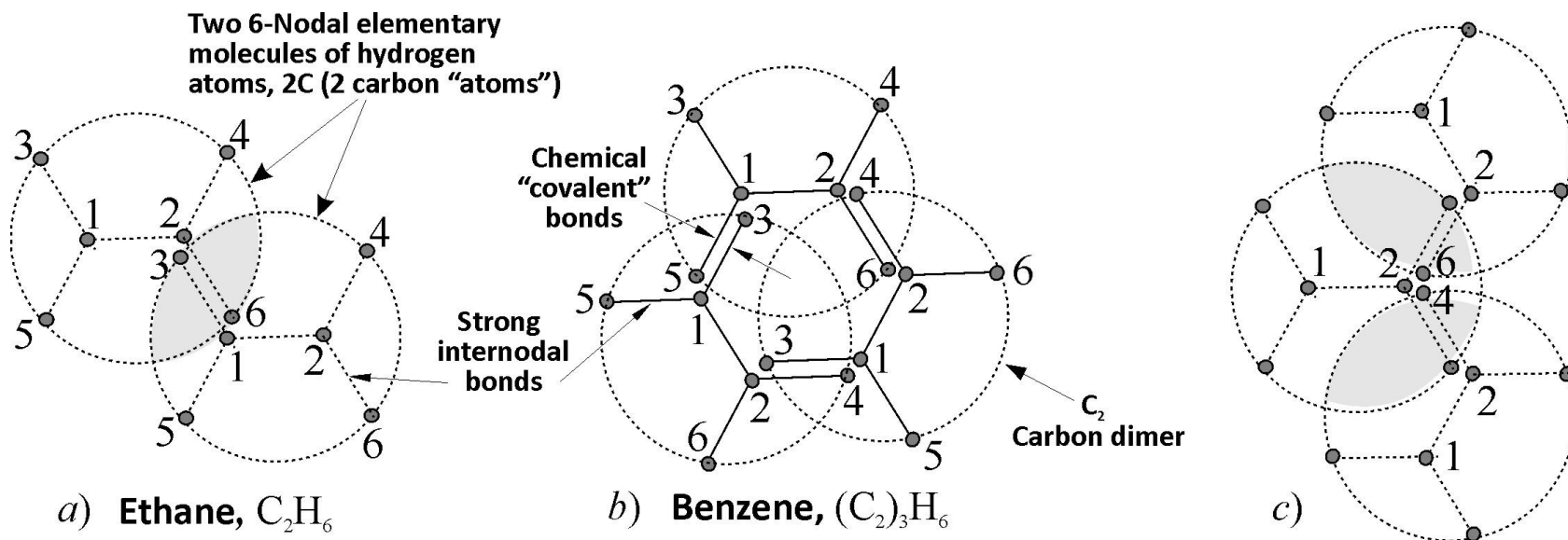
Таким образом, согласно ВМ, формула молекулы есть $(C_2)_{30}$

[D. M. Gruen, et al., *Turning Soot Into Diamonds With Microwaves*, Proceedings of the 29th Microwave Power Symposium, Chicago, Illinois, July 25-27, 1994]:

“Димер углерода (C_2) является фактически главным наблюдаемым продуктом фрагментации C_{60} ”

Схема образования химических (“ковалентных”) С–С связей

в углеводородных соединениях



Двукратное (a, b) и трёхкратное (c) перекрытия внешних и внутренних полярно-азимутальных узлов, принадлежащих объединяемым элементарным нуклонным молекулам углерода (двум “атомам” С (a) и трём димерам C_2 (б)).

Химические “ковалентные” связи осуществляются вдоль линий сильных междузельных связей (существующих между внешними и внутренними узлами) каждого из объединяемых “атомов” (a) (связи 2-6 и 3-1) или димеров (b) (связи 5-1 и 1-3, 2-6 и 4-2, 3-1 и 2-4).

Электроны играют вторичную роль, они определяют лишь прочность («силу») химических связей, но не их направление.

Схема образования двумерных соединений углерода

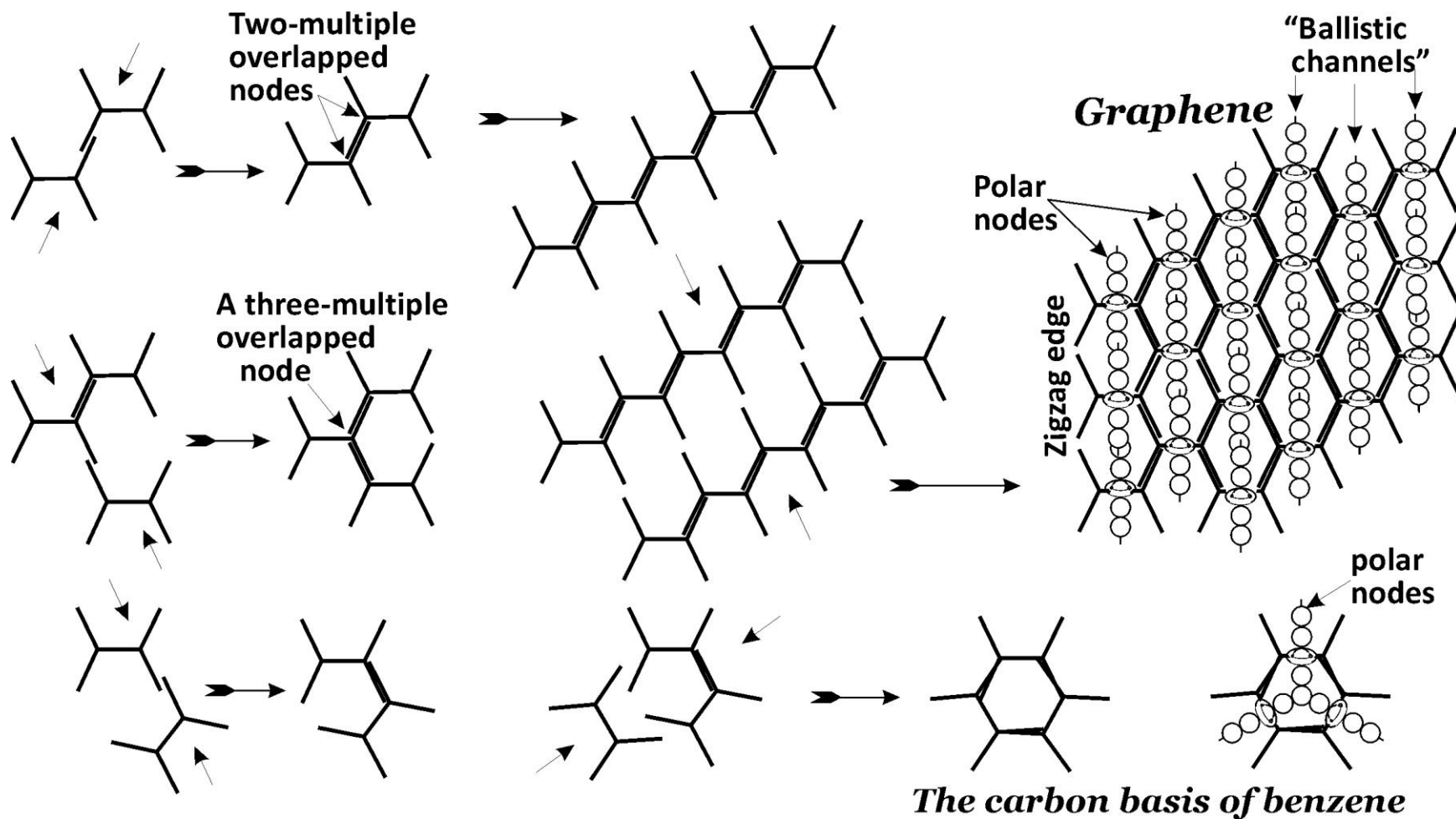
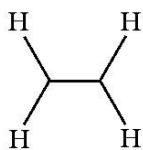
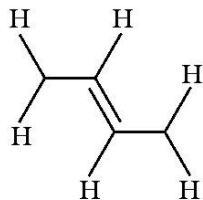


Схема С-С связей

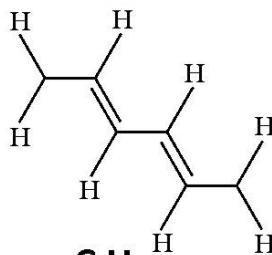
в типичных углеводородных соединениях*



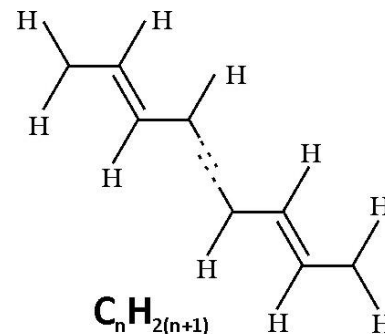
CH_4
methane



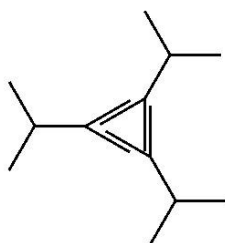
C_2H_6
ethane



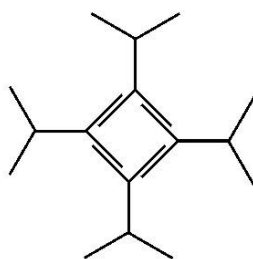
C_3H_8
propane



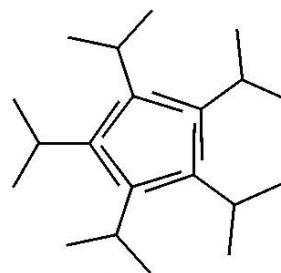
$\text{C}_n\text{H}_{2(n+1)}$



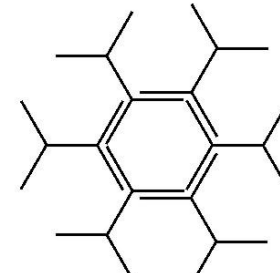
cyclopropane
 C_3H_6



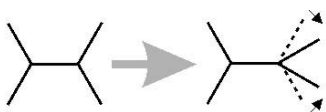
cyclobutane
 C_4H_8



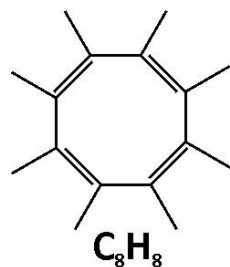
cyclopentane
 C_5H_{10}



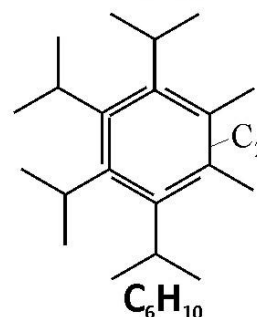
cyclohexane
 C_6H_{12}



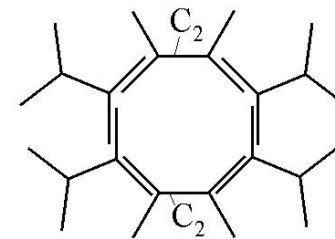
Distortion of bindings
in carbon "atoms" of
cyclopropane C_3H_6



C_8H_8
cyclooctatetraene



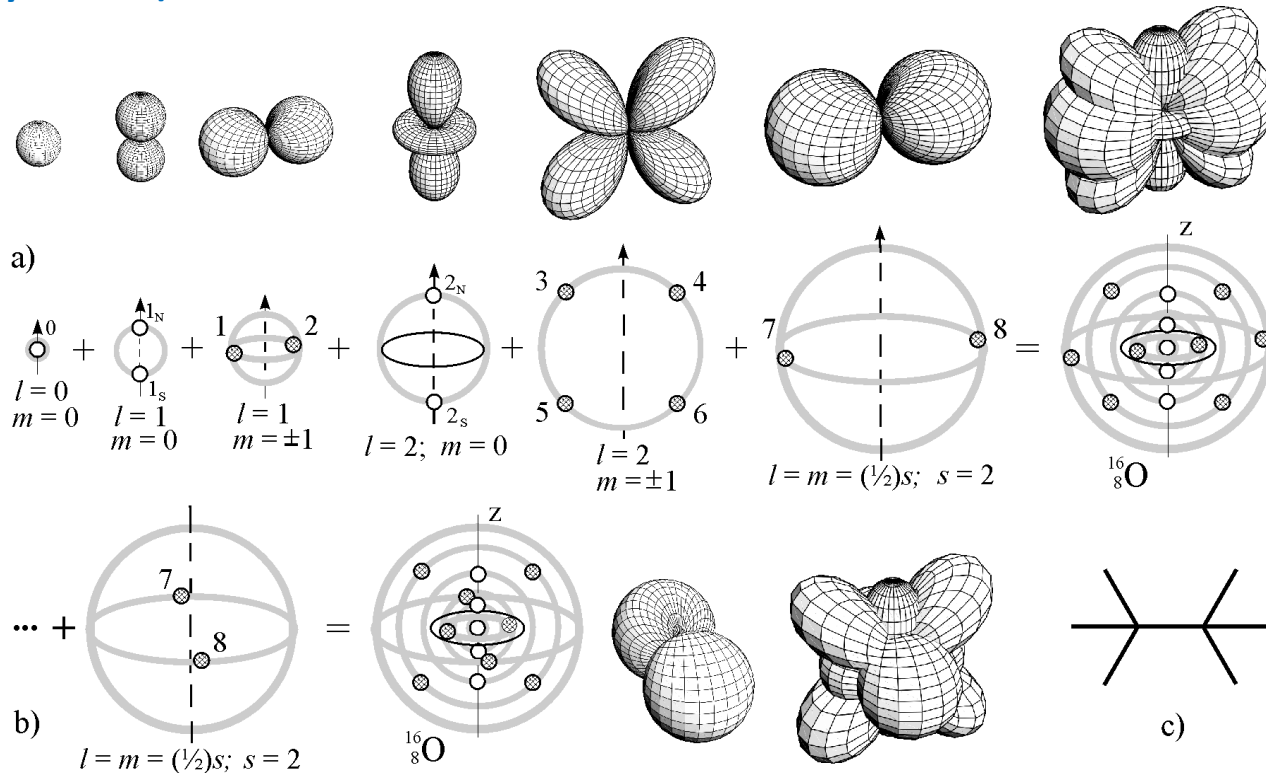
C_6H_{10}
cyclohexene



C_8H_{12}
cyclooctadiene

*[G. P. Shpenkov, *The Role of Electrons in Chemical Bonds Formations (In the Light of Shell-Nodal Atomic Model)*, *Molecular Physics Reports* 41, 89-103, (2005)]

Атом кислорода имеет **внутренние оболочки**, соответствующие $l = 0, 1, 2$, и $m = 0, \pm 1$, и **внешнюю** наполовину заполненную при $l = m = s/2$ (где $s = 2$), содержащую два заполненных полярно-азимутальных узла, 7 и 8 (из четырёх, соответствующих решению при $l = 2$, и $m = \pm 2$), каждый из них содержит пару связанных водородных атомов (нуклонов):



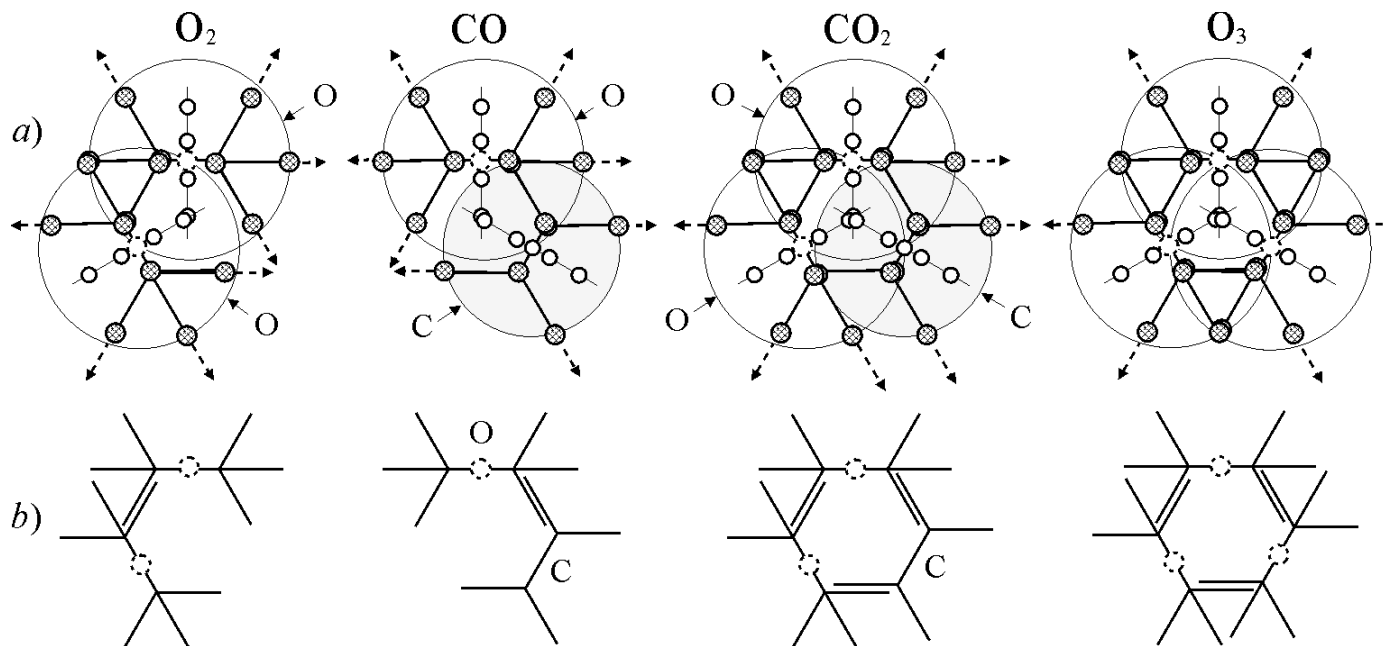
Графики полярно-азимутальных функций $\Theta_{l,m}(\theta) \cos(m\varphi + \alpha)$ ($l = 0, 1, 2; m = 0, \pm 1$) и расположение узлов, определяемых этими функциями, на радиальных оболочках $R_l(\rho)$ атома кислорода: (a) $\alpha = 0$ и (b) $\alpha = \pi/2$ на внешней полуцелой оболочке ($l=m=s/2, s=2$), (c) условное обозначение атома кислорода $^{16}_8\text{O}$ (при $\alpha = 0$).

Внешняя оболочка атома кислорода относится к полуцелому решению порядка $l+1/2$ при $l=m=s/2$ и $s=2$ волнового уравнения [10]:

$$\hat{\psi} = A\hat{R}_s(\rho)\Theta_s(\theta)e^{\pm i\frac{s}{2}\varphi}$$

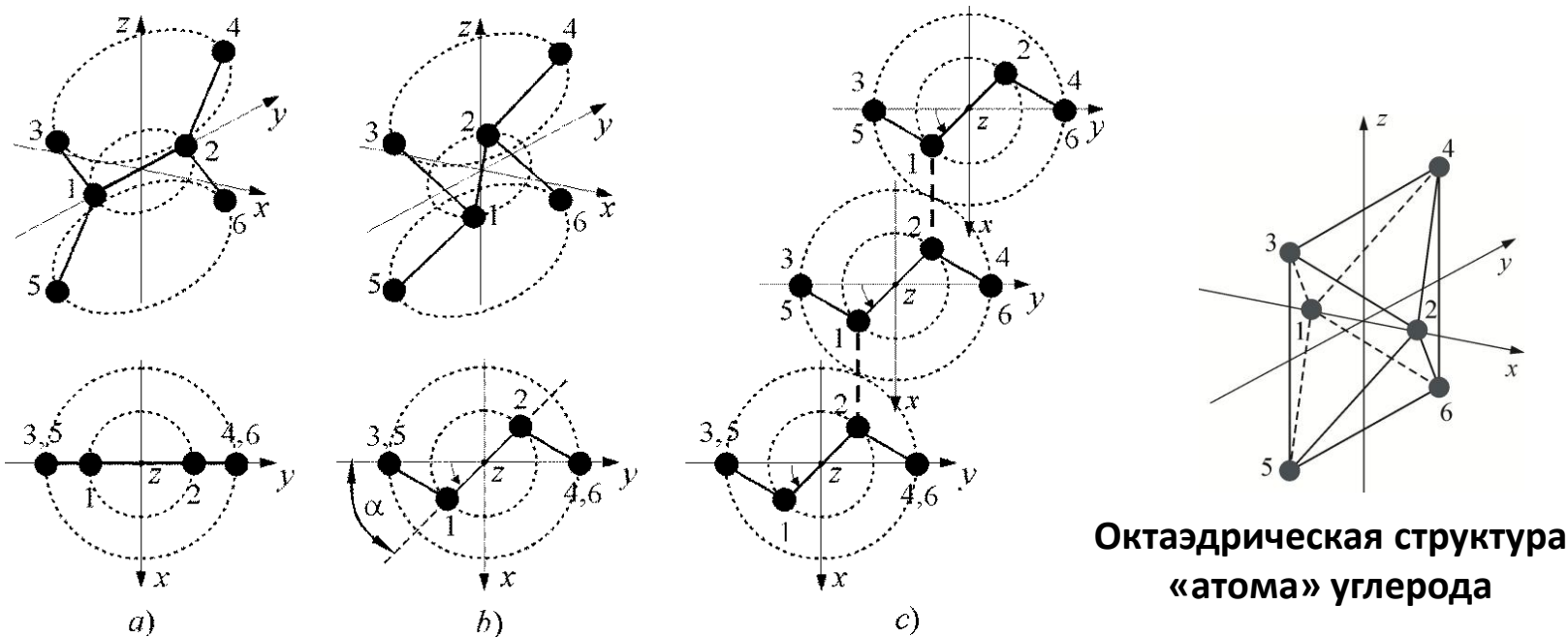
Как и все незаполненные полностью (нецелые, дробные) внешние подоболочки оболочки при $l=2$ (например, атома азота ${}_7\text{N}$, $s=1$, и атома фтора ${}_9\text{F}$, $s=3$), внешняя подоболочка атома кислорода ${}_8\text{O}$, $s=2$, лежит в экваториальной плоскости.

Ниже показаны простейшие примеры одного из вариантов образования связей в соединениях атома кислорода характеризующихся двукратным перекрытием межатомных узлов (подробности см. в [10]).



(a) Схемы образования молекул: кислорода O_2 , оксида углерода CO , углекислого газа CO_2 и озона O_3 ; b) условное обозначение соединений.

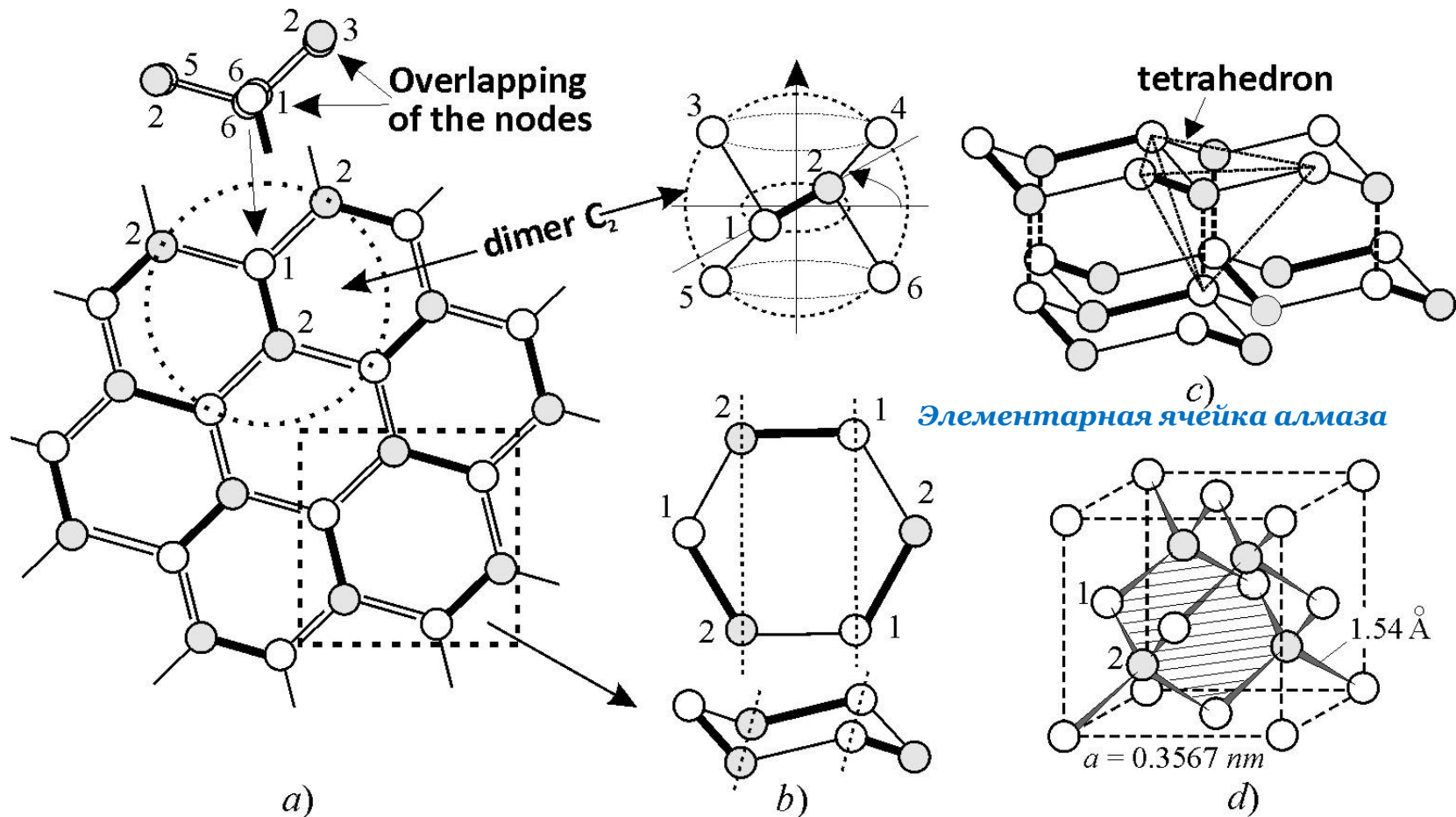
Схема образования межузельных связей в кристалле алмаза



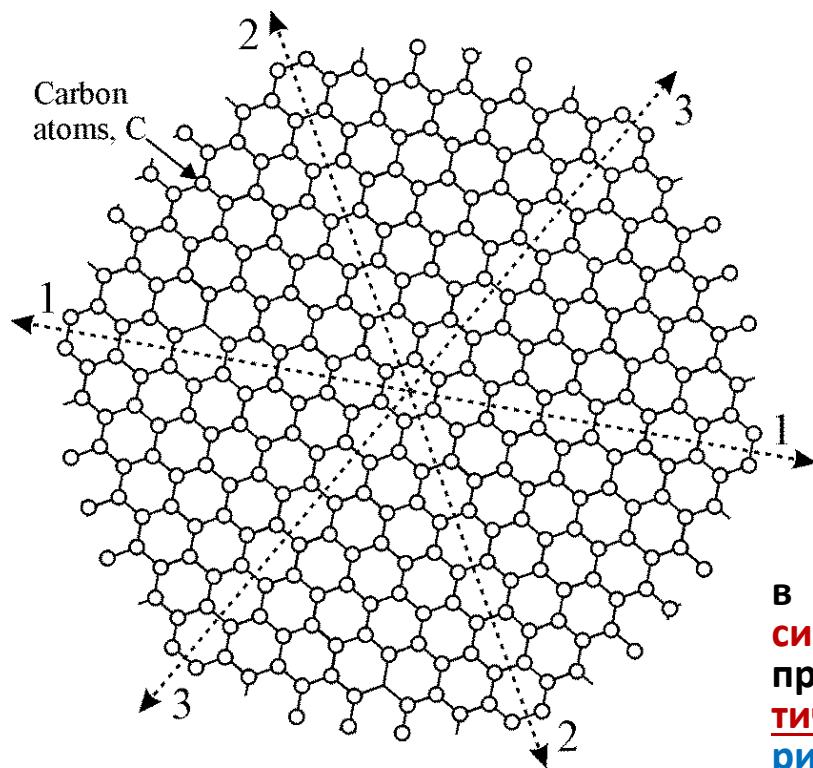
- (a) Узлы димера углерода C_2 (и «атома» углерода C) располагаются в одной плоскости.
- (b) Положение узлов 1 и 2 внутренней оболочки, повернутой в азимутальном направлении на угол $\alpha = \pi/4$ (реализуемое при определённых внешних условиях) относительно внешней оболочки, допускаемое решением волнового уравнения для φ , $\Phi_p(\varphi) = \Phi_m \cos(m\varphi + \alpha)$; соответствует октаэдрическому строению «атома» углерода.
- (c) Образование связей (пунктирные линии) между узлами 1 и 2 повернутых внутренних оболочек соседних димеров углерода, ведущее в результате к образованию гранцентрированной кубической решётки алмаза.

Гранецентрированная кубическая решётка алмаза

состоит из димеров C_2 – спаренных 6-и узловых элементарных нуклонных молекул (“атомов” углерода октаэдрической структуры)



Представления физики об основных свойствах графена



Графен – аллотропная модификация углерода в форме двумерной гексагональной решётки.

Точечная группа $D6h$, пространственная группа $P6/mmm$

- В узле решётки находится один атом углерода
- Ответственными за связь атомов углерода в решётке являются sp^2 гибридные орбитали
- Кристаллическая решётка имеет вращательную симметрию 6-го порядка.

Следовательно,

в полном соответствии с положениями теории симметрии*, все свойства, включая электронную проводимость, вдоль кристаллографически идентичных направлений 1-1, 2-2, 3-3 (указанных на рисунке) должны быть одинаковы.

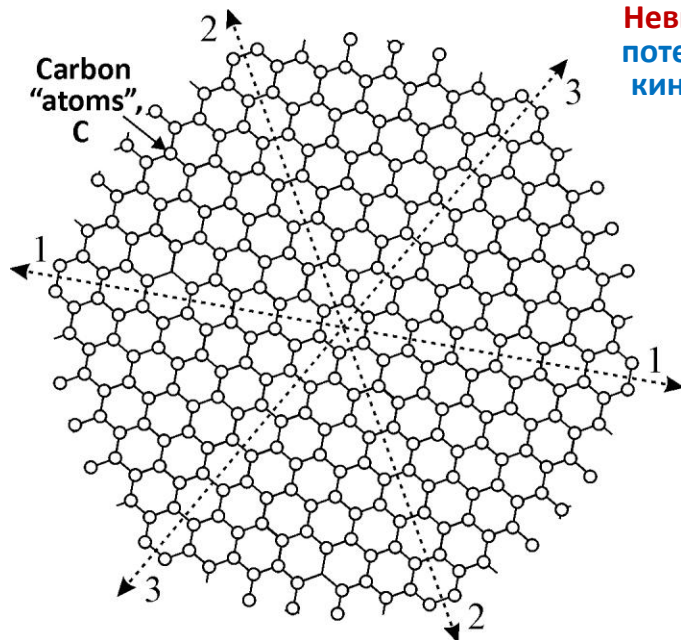
* [Robert E. Newnham, *Properties of Materials: Anisotropy, Symmetry, Structure*; Oxford University Press, 2005]

Однако исследования в рамках ВМ показали, что это не соответствует действительности.

Строение графена

Традиционный взгляд:

Гексагональная решётка образована из «атомов» углерода C

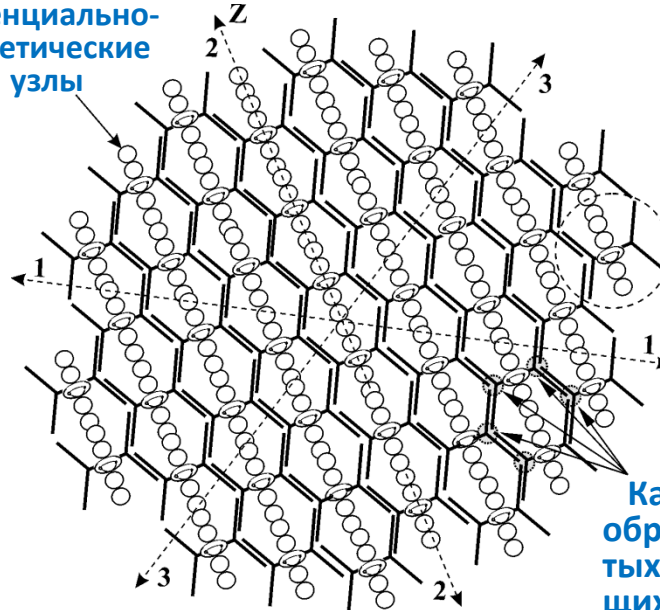


Вращательная симметрия 6-го порядка

В соответствии с ВМ:

Гексагональная решётка образована из димеров углерода C₂

Невидимые полярные потенциально-кинетические узлы



Димер углерода C₂

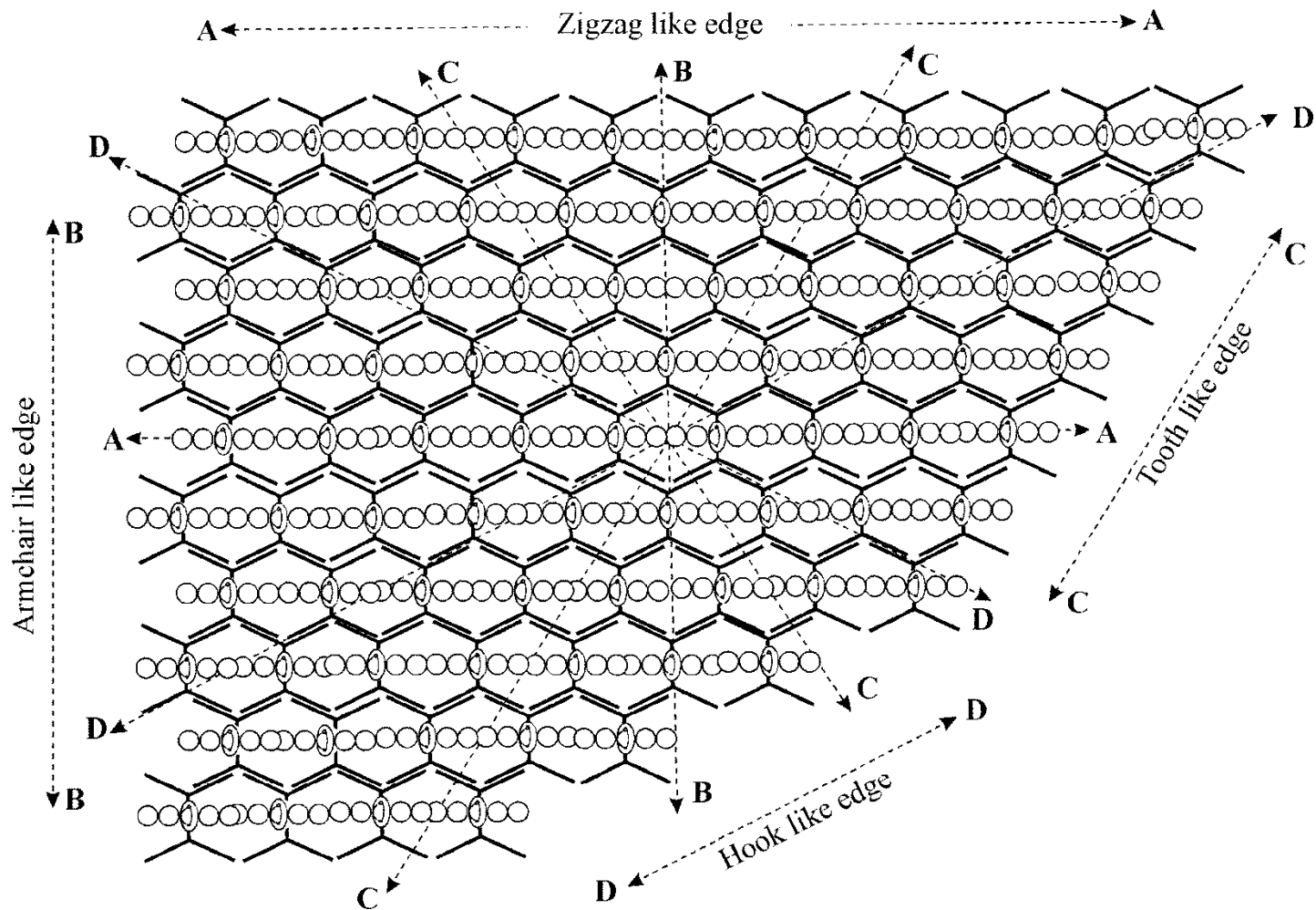
Каждый полярно-азимутальный узел содержит 4 водородных атома (нуклона)

Каждый узел решётки образован из 3-х перекрытых узлов, принадлежащих 3-м связанным димерам углерода C₂

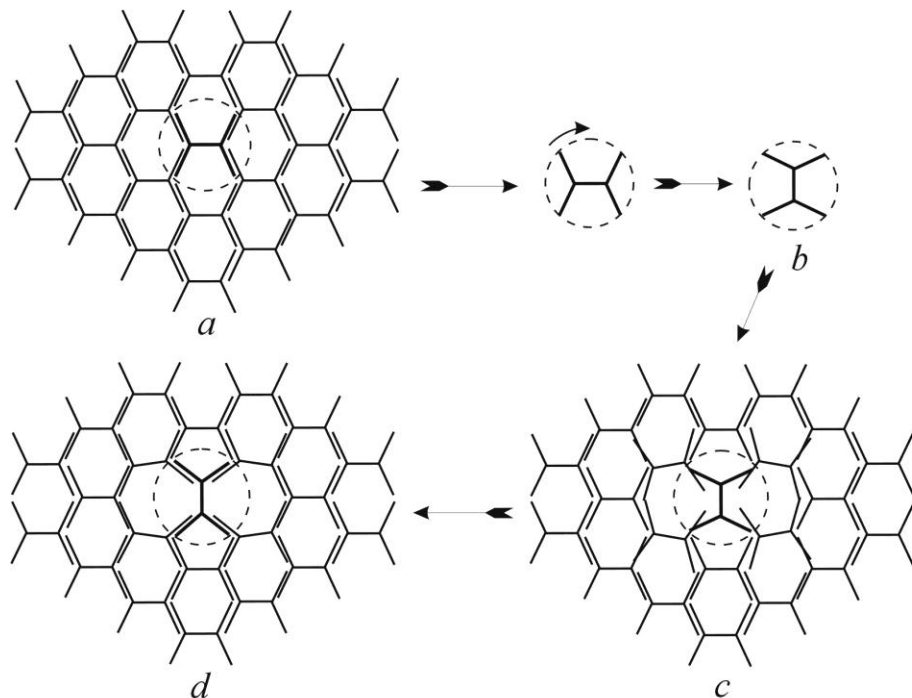
Вращательная симметрия 2-го порядка

Упорядоченная «ковалентная» связь димеров углерода C₂ реализуется в графене вдоль сильных межузельных связей таким образом, что внутри кристалла из непрерывной цепочки пустых полярных потенциально-кинетических узлов образуются полые каналы, внутри которых носители зарядов могут перемещаться без препятствий, не рассеиваясь, подобно как это имеет место при **баллистическом** движении.

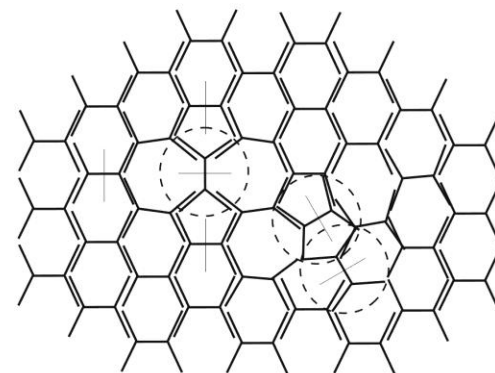
Форма граней в графене



Топологические дефекты в графене



The formation of the pentagon-heptagon (SW) defects

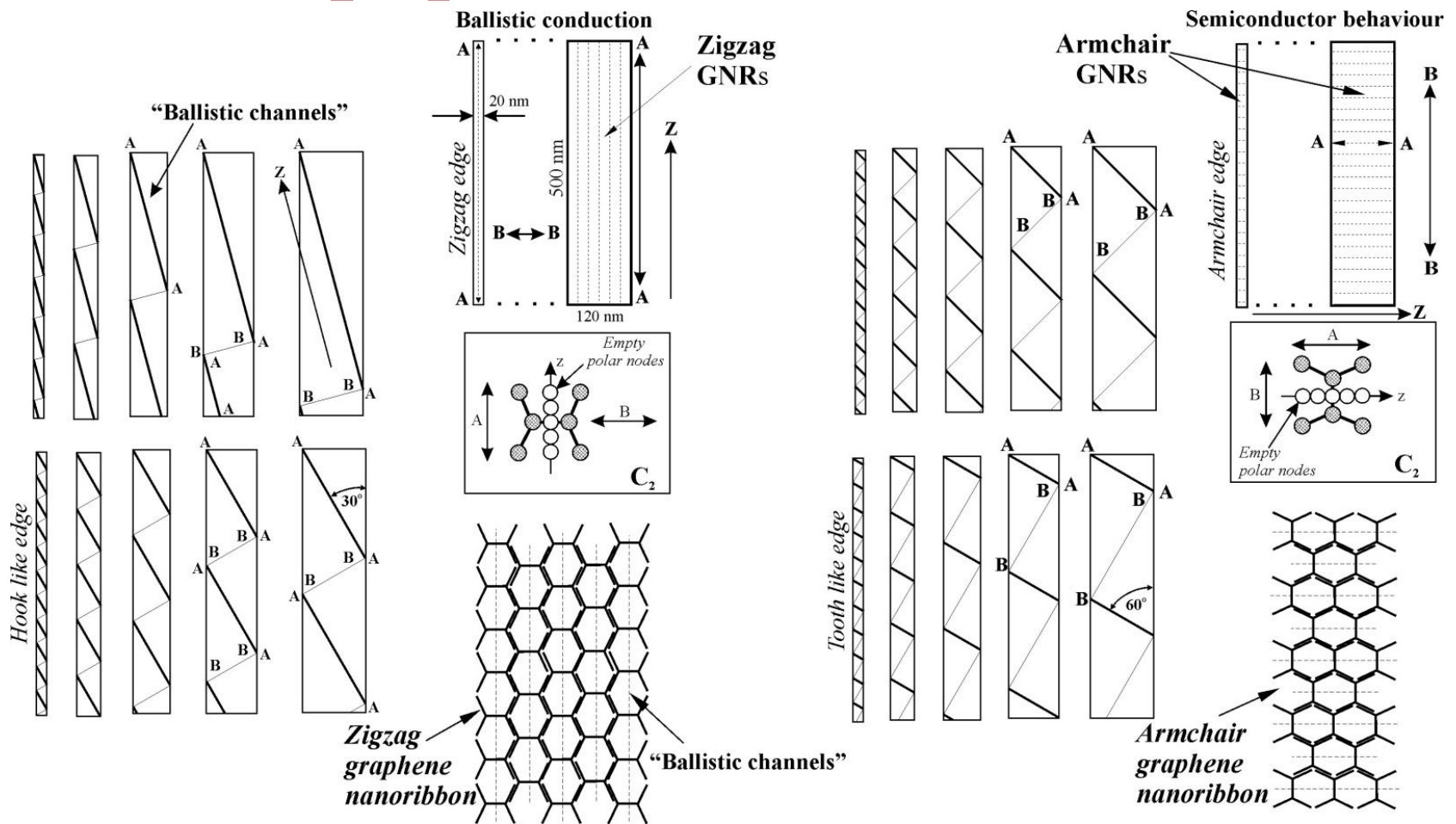


A scheme of bindings in the complex metastable defect

Топологические дефекты, такие как пара **пентагон-гептагон**, появляются из-за возникновения при нагреве вращательных мод (дополнительно к вибрационным), что ведёт к нарушению в какой-то момент равновесных связей и образованию короткоживущих связей с другими узлами ближайших димеров углерода, как указано на этой схеме.

При охлаждении происходит **самосборка**: возбужденная область решетки возвращается в исходное состояние равновесия, дефект исчезает.

Графеновые наноленты



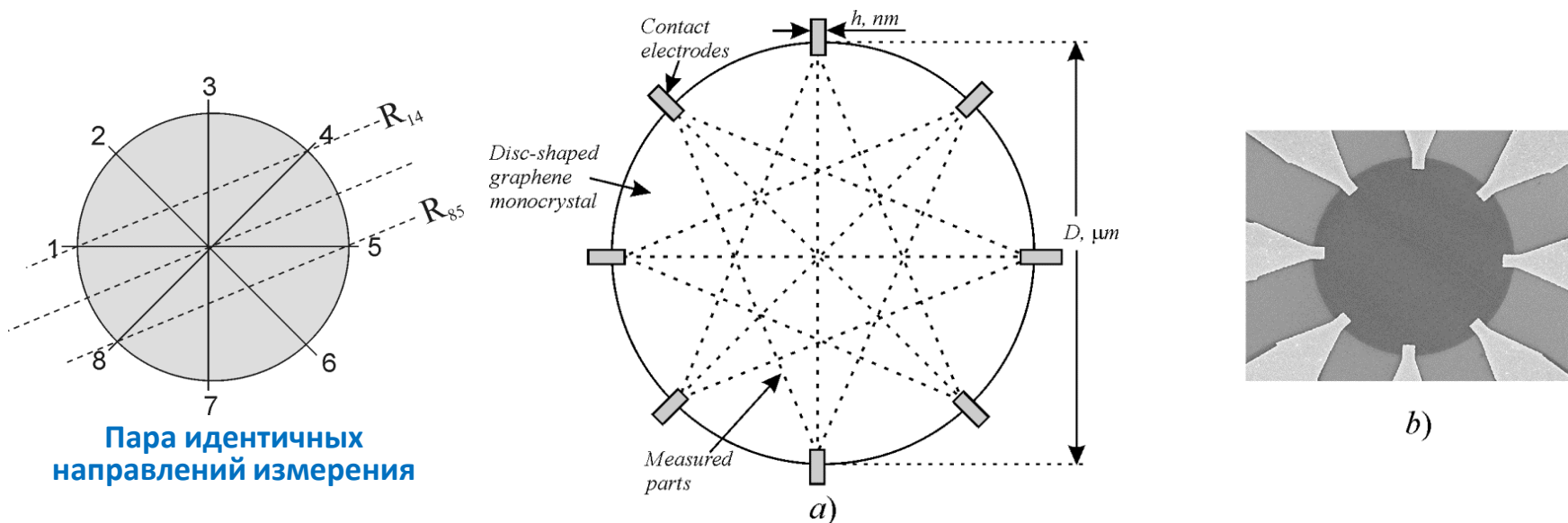
Ориентация оси z, определяющая форму граней нанолент, влияет на их свойства, например, на электрическое сопротивление, поскольку цепочки пустых полярных узлов образуют каналы, параллельные данной оси (A-A, на рисунках), по которым осуществляется «баллистическое» (без рассеяния) движение носителей зарядов.

Кристаллографическая анизотропия

должна, естественно, отражаться на проводимости графена

Схема измерения (a)

и SEM фотография (b) тестируемых дискообразных листочков графена (2010 год):



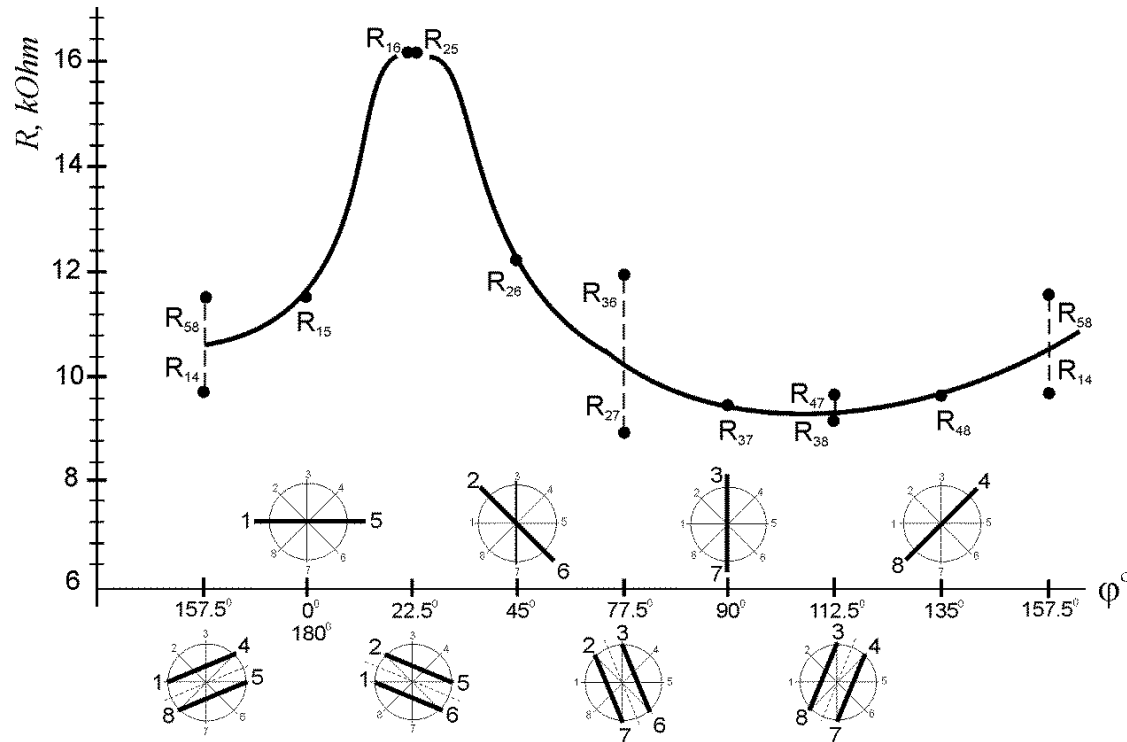
Пара идентичных направлений измерения

Оба сопротивления между параллельными парами контактов (например, R_{14} и R_{85}), охватывающие идентичные области проводимости (т. е. имеющие одинаковую геометрическую конфигурацию измеряемых участков), должны быть равны по величине (в пределах допустимых погрешностей). Это позволяет непосредственно в процессе измерения сопротивления мгновенно контролировать качество электрических контактов с дискообразными пластинками графена.

Поэтому, данная схема может быть использована для тестирования эффективности различных технологий получения качественных электрических контактов с одноатомной толщины двумерным кристаллом графена.

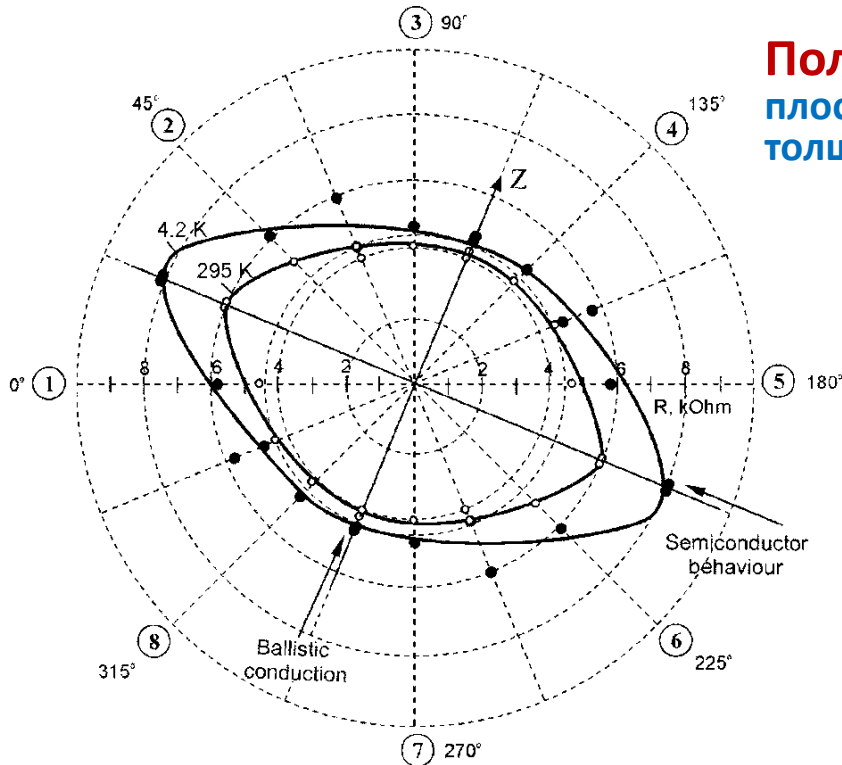
Угловая зависимость электрического сопротивления $R = f(\varphi)$

в плоскости исследуемых образцов графена
($D=10 \mu\text{m}$, $h=580 \text{ nm}$, $T=4.2 \text{ K}$, $I=1 \text{ nA}$)



Полученная зависимость типична для анизотропных материалов, имеющих симметрию второго порядка

Анизотропное поведение электрической проводимости в графене



Полярная диаграмма сопротивления в плоскости дискообразного графенового образца толщиной в один нуклонный узел:

($D=10 \mu\text{m}$, $h=580 \text{ nm}$, $T=4.2$ и 295 K)

Температурная зависимость проводимости графена вдоль одного из направлений в плоскости показывает, что графен ведёт себя в данном направлении как полупроводник.

В перпендикулярном направлении (вдоль “баллистических каналов”, оси Z), сопротивление в графене практически не зависит от температуры, графен ведёт себя как проводник.

Открытие анизотропии гексагональной решётки графена, предсказанное автором теоретически в 2009 году, - очередное в серии открытий ВМ.

Служит **прямым экспериментальным доказательством** реальности оболочечно-узлового строения “атомов”.

Анизотропия ненапряжённого графена подтверждается **оптическими методами**.

Выводы

1. Графен обладает вращательной симметрией 2-го порядка, является двумерным анизотропным кристаллом.

2. Невидимые полярные узлы, будучи связанными друг с другом в кристалле графена, образуют параллельную систему пустых каналов, благоприятствующих “баллистическому” (без рассеяния) движению носителей «зарядов».

Становится понятным и объяснимым теперь, почему:

“Graphene...is an interesting mix of a semiconductor...and a metal”

“Electrons in graphene ... have very long mean free paths”

[A.H. Castro Neto, F. Guinea, N. M. R. Peres, K. S. Novoselov and A. K. Geim, *The electronic properties of graphene*, Rev. Mod. Phys. 81, 2009]

“Nanotubes can be metallic or semiconducting,...”

[Tsuneya Ando, *The electronic properties of graphene and carbon nanotubes*, Review, NPG Asia Materials (2009) 1, 17–21; doi:10.1038/asiamat.2009.1]

Углеродные нанотрубки, свернутая форма графена, имеют проводимость металлическую или полупроводниковую. Свертывание осуществляется, в основном, по двум кристаллографическим направлениям: вдоль главной оси анизотропии и в перпендикулярном к ней направлении.

в **Заключение** отметим следующие

Четыре прорывных открытия

из серии открытий ВМ, сделанных в процессе исследований, приведших к открытию анизотропии гексагональной решетки графена:

I. Истинными атомами являются водородные атомы, к которым относятся нуклоны (протоны и нейтроны) и протий.

Все остальные **“атомы”** Периодической системы химических элементов и их изотопы, будучи волновыми образованиями, имеют **оболочечно-узловую структуру** и являются

элементарными нуклонными молекулами

(или элементарными молекулами водородных атомов).

В каждом главном полярно-азимутальном узле нуклонных молекул располагается по **2 спаренных нуклона**.

Узлы нуклонных молекул связаны друг с другом **сильным взаимодействием**.

II. Пространственное расположение узлов и межузельных сильных связей в элементарных нуклонных молекулах (“атомах”) **определяет структуру** молекул более высокого уровня – **обычных молекул и кристаллов.**

Электроны играют вторичную роль.

Произведение присоединённой массы электрона m_e и фундаментальной частоты атомного и субатомного уровней ω_e , **обменный заряд $e = m_e \omega_e$, определяет прочность («силу»)** так называемых **химических связей**, но не их направление.

Химические “ковалентные” связи реализуются вдоль сильных межузельных связей каждой из объединяемых элементарных нуклонных молекул (“атомов”) или их димеров.

III. Структура и относительная масса всех “атомных” изотопов определяются степенью заполнения потенциальных полярно-азимутальных и потенциально-кинетических полярных узлов “атомов” нуклонами (водородными атомами).

Данные для всех “атомных” изотопов, полученные в ВМ из решений волнового уравнения, представлены в построенной впервые теоретической **Таблице “атомных” изотопов** (изотопов элементарных нуклонных молекул).

IV. Изначальной причиной периодичности свойств всех химических элементов Периодической системы является **квазиподобие узловой структуры** внешних волновых оболочек “атомов” (элементарных нуклонных молекул), следующее из решений волнового уравнения.

На основе данных решений впервые построена теоретическая **Периодическая таблица химических элементов** (элементарных нуклонных молекул – “атомов”), порядок расположения элементов в которой отражает квазипериодичность **узловой структуры** волновых оболочек “атомов”.

ССЫЛКИ

[1] George Shpenkov, *Some words about fundamental problems of physics*, LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012 (English and Russian versions);

https://shpenkov.com/images/978-3-659-23750-8_eng.JPG

https://shpenkov.com/images/978-3-659-22828-5_rus.JPG

[2] Георгий П. Шпеньков, *Открытие физического смысла мнимых чисел и единицы «i»*, 05-10-2022; <https://shpenkov.com/pdf/BinaryAlgebra.pdf>

<https://www.youtube.com/watch?v=fTaw3Hfs-eE>

[3] George P. Shpenkov, *Quantum electrodynamics: fundamentals and prospects*, 08.06.2020; <https://shpenkov.com/pdf/QED.pdf>

[4] L. G. Kreidik and G. P. Shpenkov, *Dynamic Model of Elementary Particles and the Nature of Mass and "Electric" Charge*, REVISTA CIENCIAS EXATAS E NATURAIS, Vol. 3, No 2, 157-170, (2001);

<http://shpenkov.com/pdf/masscharge.pdf>

<https://revistas.unicentro.br/index.php/RECEN/article/view/478>

[5] Георгий П. Шпеньков, *Что такое ЭЛЕКТРОН*, 28.11.2022;

<https://www.youtube.com/watch?v=axIivWSP0iw>

<https://shpenkov.com/pdf/Electron.pdf>

[6]. L.G. Kreidik and G.P. Shpenkov, *Alternative Picture of the World*, Vol. 1-3, Bydgoszcz, 1996; <https://shpenkov.com/books.html>

[7] Georgi P. Shpenkov, *The shell-nodal structure of the atoms*, Proceedings of 2nd International Conference on Quantum Physics and Quantum Technology, September 25-26, 2017 Berlin, Germany, page 23; Journal of Lasers, Optics & Photonics, 2017, 4, 3 (Suppl);

<https://shpenkov.com/pdf/talk2017Berlin.pdf>

[8] Георгий Шпеньков, *Обзор основных открытий теорий Волновой Модели*, Geo.S., Bielsko-Biala (2022), 158 стр.

<https://shpenkov.com/pdf/ReviewDiscoveries2022Shpenkov.pdf>

<https://www.youtube.com/watch?v=zTIDkks4CTA>

[9] F.W.J. Olver, ed., Royal Society Mathematical Tables, Vol. 7, *Bessel Functions*, part. III, *Zeros and Associated Values*, Cambridge, 1960.

[10] George P. Shpenkov, MATERIAL-IDEAL STRUCTURE OF THE WORLD: WAVE MODEL (Selected Lectures), Lecture 5-8 "*Oxygen Compounds*". Geo.S., Bielsko-Biala (2021), 386 стр.; Vol. 5 "Shell-Nodal Structure of the Atoms", Vol. 6 "Topical Issues".

<https://shpenkov.com/pdf/Vol.5.Shell-NodalAtomicStructure.pdf>

Георгий П. Шпеньков

<https://shpenkov.com/pdf/Graphene.pdf>

30.06.2025