

# Материаловедение

Лектор: Кирко Владимир Игоревич

Проф., д.ф.-м.н.

E-mail : [director.nifti@mail.ru](mailto:director.nifti@mail.ru)

с.тел. 2639777

# Определения

- Материалом называется вещество, обладающее необходимым комплексом свойств, для выполнения заданной функции отдельно или в совокупности с другими веществами.
- Материаловедение - это раздел научного знания, посвященный свойствам веществ и их направленному изменению с целью получения материалов с заранее заданными рабочими характеристиками.

Основу материаловедения составляет знание о процессах, протекающих в материалах под воздействием различных факторов, об их влиянии на комплекс свойств материала, о способах контроля и управления ими.

# Основные задачи курса

- дать понимание физико-химической сущности явлений, происходящих в материалах при воздействии на них различных факторов в условиях производства и эксплуатации, и их влияния на свойства материалов;
- установить зависимость между химическим составом, строением и свойствами материалов;
- изучить теоретические основы и практику реализации различных способов получения и обработки материалов, обеспечивающих высокую надежность и долговечность конструкций;
- дать знания об основных группах материалов, их свойствах и областях применения.

Задача современного материаловедения -  
получение материалов с заранее заданными  
свойствами.

Свойства материалов определяются химическим составом и структурой, которые являются результатом получения материала и его дальнейшей обработкой. Для разработки материалов и технологий необходимо знание физических и химических явлений и процессов, протекающих в материале на различных стадиях его получения, обработки и эксплуатации, их предсказание, описание и управление ими.

# Технологические уклады.

«...несколько взаимосвязанных и последовательно сменяющих друг друга поколений техники, эволюционно реализующих общий те

Акад.Д.С.Львов; Акад.С.Ю.Глазьев;  
Ю.В.Фетисов ;Ю.В. Яковец



# Характеристика технологических укладов

## **Первый уклад**

Конец XVIII – начало XIX вв. (1785 – 1835) Использование энергии воды. Новые технологии в текстильной промышленности. Зарождение промышленности.

## **Второй уклад**

2-я половина XIX в. (1830 – 1890) Развитие железнодорожного транспорта и механизация производства практически всех видов продукции на базе использования парового двигателя. Начало развития крупных предприятий, массовое распространение акционерных форм предпринимательства.

## **Третий уклад**

Конец XIX в. – середина XX в. (1880 – 1940) Эпоха электроэнергии и автомобилей. Широкое использование в промышленном производстве электроэнергии, новые открытия в области химии. Развитие химического комплекса, тяжелого машиностроения и электротехнической промышленности.

#### **четвертый уклад**

2-я половина XX в. (1930 – 1990) Эра массового производства. Дальнейшее развитие энергетики, средств связи, широкое использование нефти, нефтепродуктов и газа, новых синтетических материалов; появление и широкое распространение компьютеров и программных продуктов для них, радаров, атома сначала в военных, а затем и в мирных целях. Появление транснациональных и межнациональных корпораций, осуществляющих прямые инвестиции на рынках различных стран.

#### **Пятый уклад**

Начало формирования – середина 80-х гг. XX века Эпоха революций: информационной революции, революции генетики, биотехнологии. Развитие микроэлектроники, информатики, биотехнологии, геномной инженерии, новых видов энергии, спутниковой связи и т.д. Вместо разрозненных фирм и даже транснациональных корпораций начинается формирование единой сети крупных и мелких фирм, соединенных электронной связью, осуществляющих тесное взаимодействие в области технологий, контроля качества продукции, планирования инвестиций и др.

# Основные доисторические материалы и технологии

1. Каменный век — камень, кости, дерево, глина (2.5 млн. лет -

2.2 тыс.лет до н.э.);

Основные изобретения:

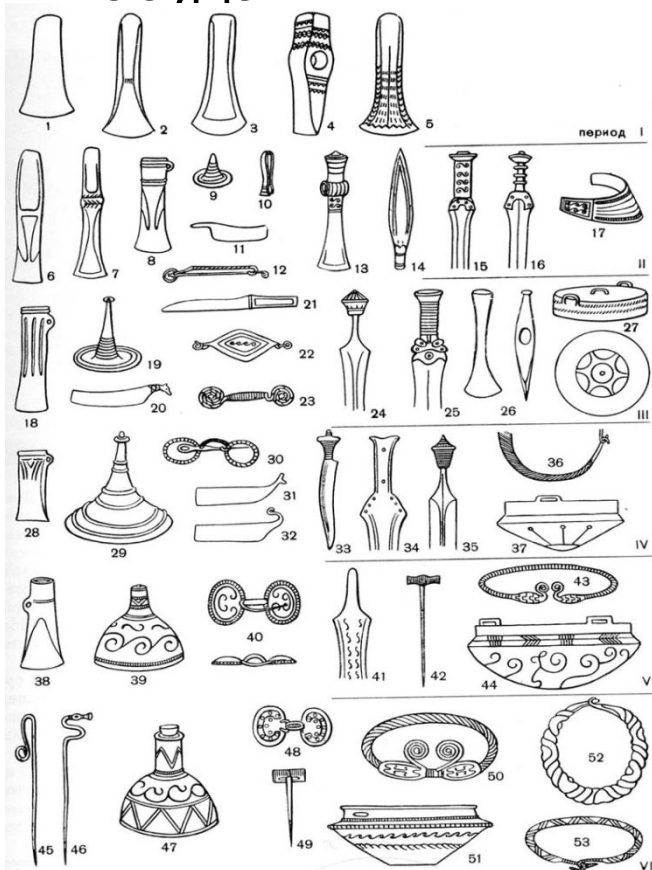
Наконечники для копий, ножи ,топоры, каменное колесо, иглы для шитья одежды, рыболовные крючки, керамика.





# Основные доисторические материалы и технологии

2. Бронзовый век — медь, олово, мышьяк, бронза, стекло (4тыс. Лет — 1200 лет до н.э). Зарождение и развитие металлургии. Передовые технологии: колесница, меч, посуда.



# Основные доисторические материалы и технологии

Железный век — эпоха в первобытной и раннеклассовой истории человечества, характеризующаяся распространением металлургии железа и изготовлением железных орудий.

(1000 лет — 100 лет до н.э.).

Передовые технологии — сыродутные горны, железный лемех, водоподъемное колесо, легированная нержавеющая сталь, закалка и науглероживание железа. Ускоряется развитие ремесла, в особенности кузнечного и оружейного, производства средств транспорта (судов, колесниц и т. д.), обработки камня и дерева, рудничного дела. Развивается мореплавание.



# Основные исторические материалы и технологии

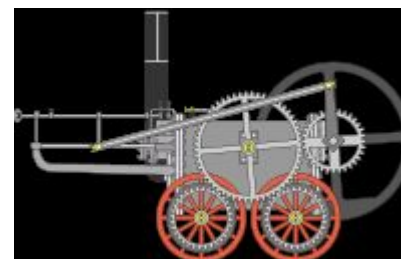
Начиная с XII—XIII веков в Европе произошёл резкий подъём развития технологий и увеличилось число нововведений в средства производства, что способствовало экономическому росту. Менее чем за столетие было сделано больше изобретений, чем за предыдущую тысячу лет. Основные изобретения и технологии средневековья: пушки, очки, порох, книгопечатание, штухофен (праобраз современной доменной печи), гужевой транспорт и т.д.

Развитие горного дела, металлургии, кораблестроения, желе.

Основой развития технологий 17 и до начала 20 века составляло развитие металлургии черной металлургии, горного дела, кораблестроения и железнодорожного транспорта. Именно благодаря открытию жаропрочных и износостойких сталей стало возможным создание парового двигателя (паровоза, парохода и паротрактора), систем канализации и отопления .



Ричард Тревитик создатель  
первого  
Паровоза (1803 г.)



# Основные исторические материалы и технологии

4. Алюминий ( в 1825 г. открыт Анри Этьеном Сент-Клер Девилем). В начале 20 го века дал развитие автомобильной и авиационной промышленности.



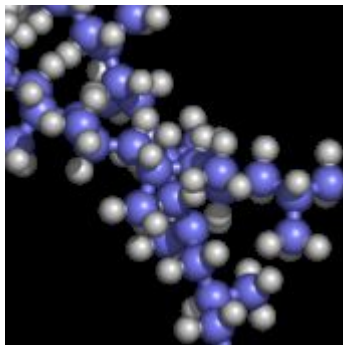
5. Кремний - выделен в 1811 году французскими учёными Жозефом Луи Гей-Люссаком и Луи Жаком Тенаром.

Открытие алюминия и кремния в начале 20 го века дали развитие автомобильной и авиационной промышленности.



# Основные исторические материалы и технологии, предопределившие развитие человечества

6. Искусственные полимерные материалы (целлулоид — Александр Паркс -1855 г. Джон Уэсли Хайатт — 1870 г.). Неорганические и органические, аморфные и кристаллические вещества, состоящие из «мономерных звеньев», соединённых в длинные макромолекулы химическими или координационными связями



Благодаря ценным свойствам полимеры применяются в машиностроении текстильной промышленности, сельском хозяйстве и медицине, автомобиле- и судостроении, авиастроении, в быту (текстильные и кожаные изделия, посуда, клей и лаки, украшения и другие предметы). На основании высокомолекулярных соединений изготавливают резины, волокна, пластмассы, пленки и лакокрасочные покрытия. Все ткани живых организмов представляют высокомолекулярные соединения.

# Основные физические параметры, которые используют для придания необходимых свойств материалам и их форме.

Фазовые переходы, в том числе плавление

T

Пластическая деформация (упрочнение), фазовые переходы

P

Ковка, прокатка, прессование, штамповка, вырубка, порошковая металлургия

T,P

# Основные физические параметры, которые используют для придания необходимых свойств материалам и их форме.



Металлургия, диффузионное насыщение

T, Ni



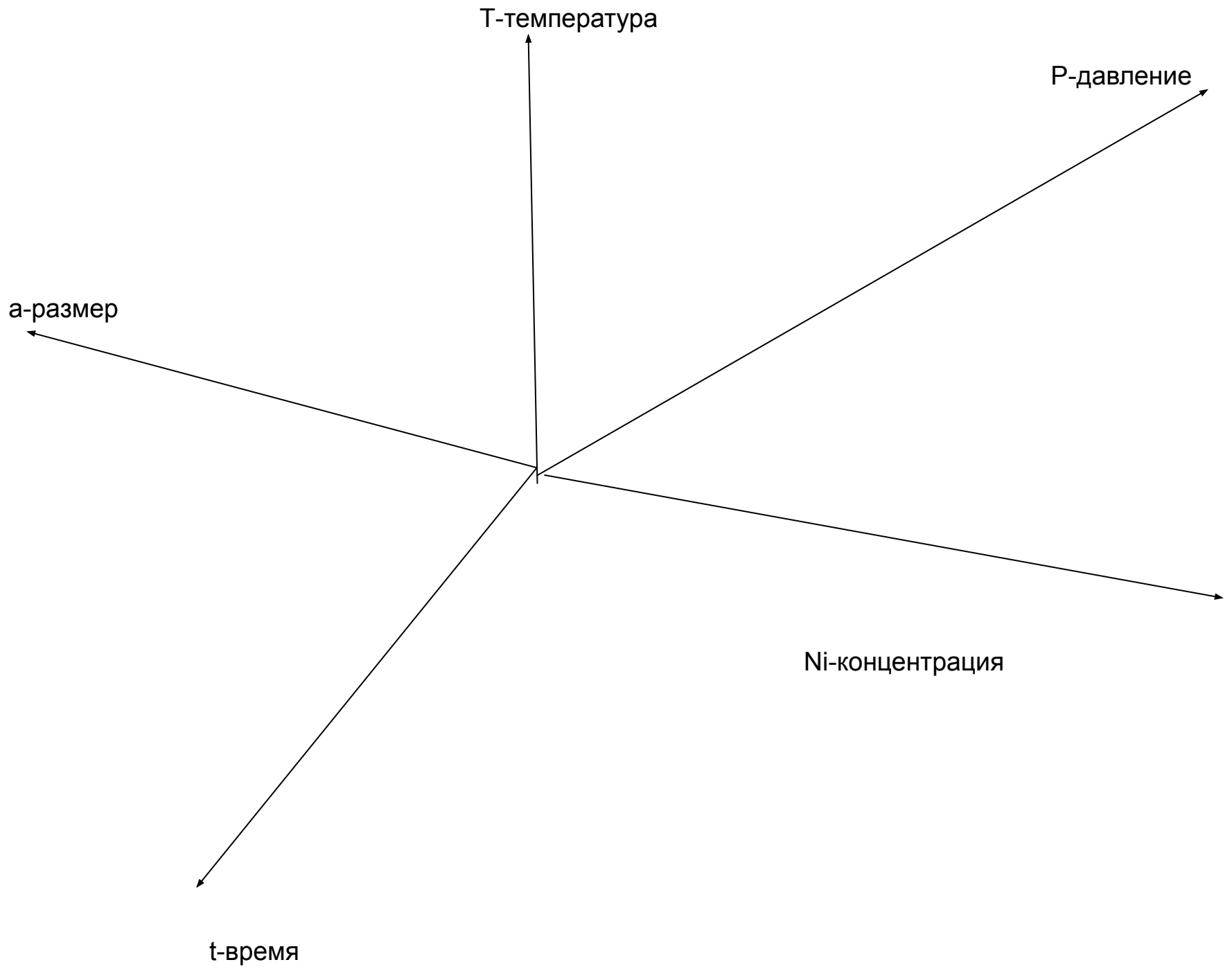
Закалка, обработка импульсными источниками энергии

T, t



Импульсное прессование

P, t





# Классификация материалов по областям применения

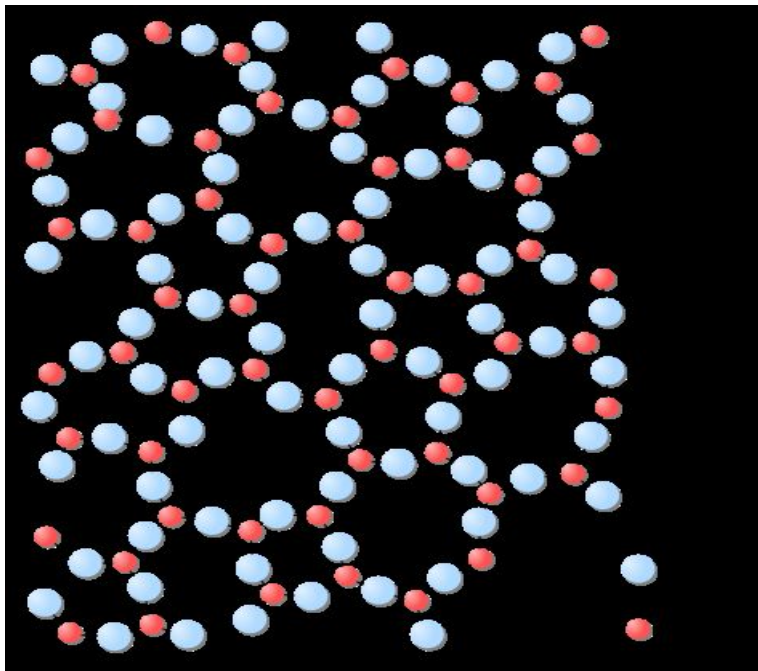
- Конструкционные;
- Строительные;
- Оптические;
- Ядерные;
- Полимерные;
- Керамические.
- Электротехнические;
- Полупроводниковые.

# Классификация материалов по электрофизическим и магнитным свойствам

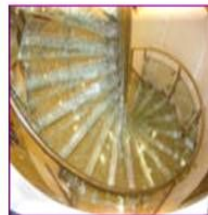
- Магнитные (железо, никель, ферриты и т.д.);
- Парамагнитные и диамагнитные;
- Немагнитные (медь, золото, серебро, полиэтилен);
- Проводники (железо, медь, серебро ...);
- Полупроводники ( кремний, арсенид галлия...);
- Диэлектрики (керамика, резина, полиэтилен...);

# Классификация материалов по атомной структуре

Аморфные;



## *Аморфные тела*



*стекло*



*янтарь*



*канифоль*



*сахарный леденец*



*Кремнезём*



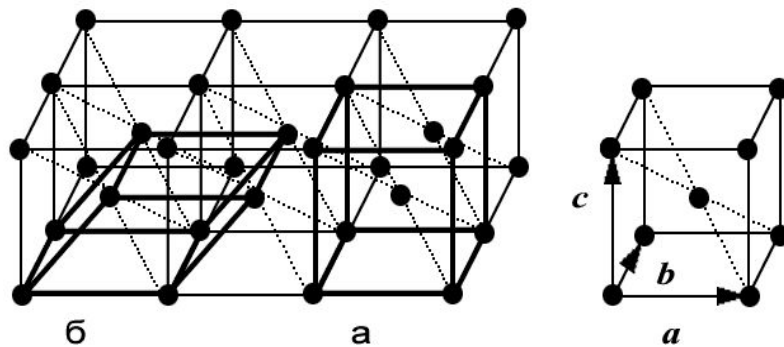
*смола*



# Классификация материалов по атомной структуре

- Кристаллические: железо, кристаллы рубина; горные породы ...

Бриллианты



Кремень



# Классификация материалов по атомной структуре

Аморфно-кристаллическая.

В строительных материалах



Сверхлегкий аэрогель на основе аморфного диоксида кремния и кристаллического оксида хрома (40мг./см<sup>3</sup>)



# Классификация материалов по характеру и размерам элементов их составляющих

- Монолитные;
  - Пористые;
  - Порошковые;
  - Композиционные;
  - Мелкокристаллические (100нм до 10 мкм);
- Нанокристаллические (ультрадисперсные)  
(1-100 нм).

# Примеры наноматериалов.

- Наноалмазы (10-100нм.)

В СССР под руководством академика Е. И. Забабахина учёные ВНИИТФ (Челябинск 70) в 1962 г. К. В. Волков, В. В. Даниленко и В. И. Елина синтезировали наноалмазы из продуктов взрыва взрывчатых веществ ,обладающих отрицательным кислородным балансом.

В США первое сообщение о синтезе УДА появилось только в 1988 г.

[1] Даниленко В. В. Из истории открытия синтеза наноалмазов. Физика Твёрдого Тела, 2004, Т.46, вып. 4, С. 581—584

[2] Greiner N. Roy. Diamonds in detonation soot / N. Roy Greiner, D. S. Phillips, J. D. Johnson, F. Volk // Nature. — 1988. — №.333. — pp. 440–442



# Современные методы синтеза наноалмазов

- — Получение из природных алмазов физическими методами;
- — синтез при сверхвысоких давлениях и температурах;
- — электронно- и ионно-лучевые методы, использующие облучение углеродсодержащего материала пучками электронов и ионами аргона;
- химическое осаждение углеродсодержащего пара при высоких температурах и давлениях;
- — детонационный синтез;
- — электрохимическое осаждение на аноде.

Долматов В. Ю., Веретенникова М. В.,  
Марчуков В. А., Суцев В. Г.  
Современные промышленные  
возможности синтеза наноалмазов.  
Физика твердого тела, 2004, Т. 46, Вып.  
4.- С. 596—600

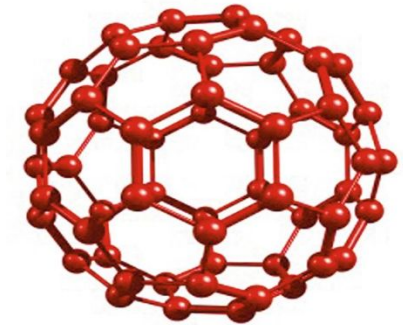
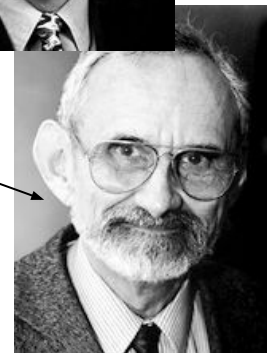
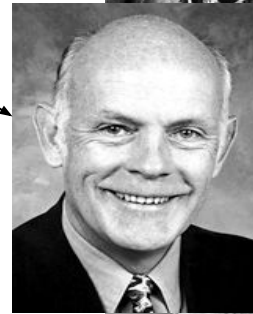
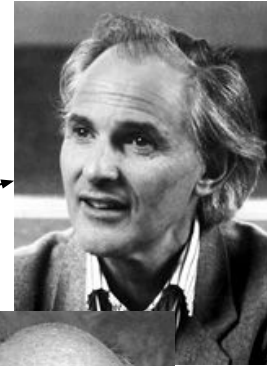


# Примеры наноматериалов

## Фуллерен: C<sub>60</sub>

За открытие фуллеренов Харольду Крото, Ричарду Смолли и Роберту Кёрлу в 1996 году была присуждена Нобелевская премия [1]

Возможность их существования была предсказана ещё в 1971 году в Японии [2] и теоретически обоснована в 1973 году в СССР [3]

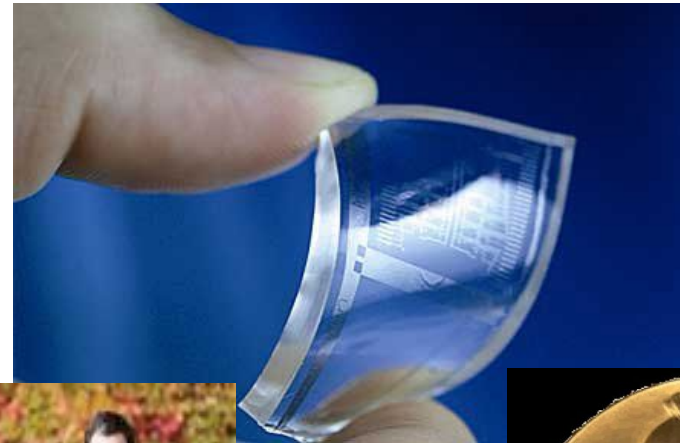
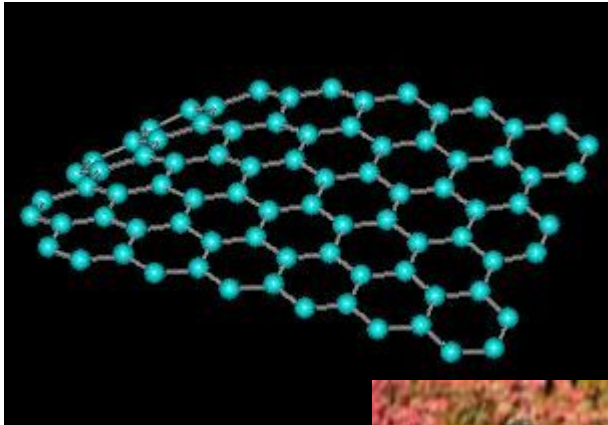


Osawa E. Kagaku (Kyoto), V.25, P.854 (1971);  
Chem. Abstr. V.74 (1971)

Бочвар Д. А., Гальперн Е. Г. Докл. АН СССР,  
т.209, № 3, с.610 (1973)

# Примеры наноматериалов

**Графен**, открытый Андреем Геймом и Константином Новоселовым (Нобелевская премия 2010 г.), является отличной основой для эффективного фототранзистора. Это открытие может быть использовано при создании сверхбыстрых чипов для высокоскоростной оптической СВЯЗИ.

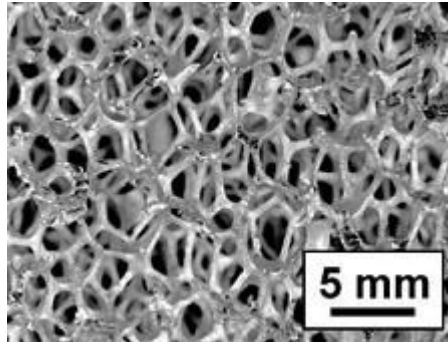


Нобелевские лауреаты  
2010г.  
А.Гейм и К. Новоселов

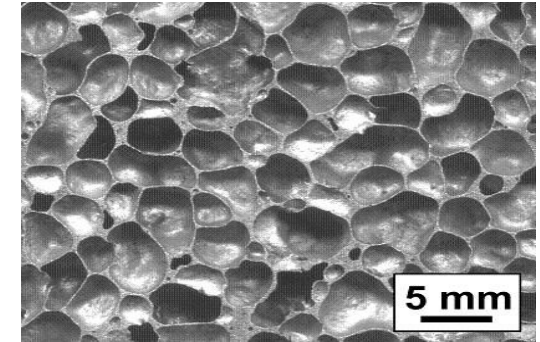


# Пористые материалы

- Пенометаллы;



Пеноалюминий с открытой пористостью



Пеноалюминий с закрытой пористостью

Характеризуется крайне низкой плотностью (до 50 кг/м<sup>3</sup>), высокой степенью шумопоглощения, низкой теплопроводностью и высокой удельной жесткостью

Пенометаллы производятся из расплавленных металлов путем впрыска газов (воздуха, инертных газов), либо путём стимулирования местного образования газов введением газовыделяющего реактива (TiH<sub>2</sub>).

# Определение

**Жесткость**- это способность конструктивных элементов деформироваться при внешнем воздействии без существенного изменения геометрических размеров.

В случаях малых одномерных деформаций (в пределах зоны упругости, где справедлив закон Гука) жёсткость можно определить как произведение модуля упругости (при растяжении, сжатии и изгибе) на соответствующую геометрическую характеристику сечения элемента, например, площадь поперечного сечения.

Жесткость :  $G = E \cdot S$ ,  
где  $E$  — модуль Юнга;  
 $S$  — площадь сечения образца;  
Удельная жесткость :  $g = G / \rho$ ,  
где  $\rho$  — плотность образца.



# Пористые материалы

- Пенобетоны .

Склад пеноблоков



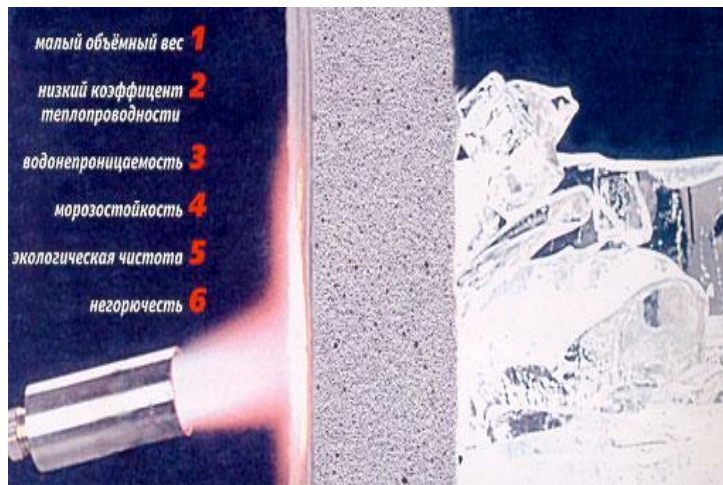
Пенобетон — ячеистый бетон, имеющий пористую структуру за счёт замкнутых пор (пузырьков) по всему объёму, получаемый в результате твердения раствора, состоящего из цемента, песка, воды и пенообразователя.

- При плотности 350 кг/м<sup>3</sup> его прочность составляет 7 кг/м<sup>2</sup>, а теплопроводность- 0.09 Вт/(м\*К);
- При плотности 1200 кг/м<sup>3</sup> прочность составляет 90 кг/м<sup>2</sup>, а теплопроводность- 0.38 Вт/(м\*К).

# Пористые материалы

## • Пеностекло.

Пеностекло(вспененное стекло, ячеистое стекло) — теплоизоляционный материал, представляющий собой вспененную стекломассу. Для изготовления пеностекла используется способность силикатных стёкол размягчаться и (в случае наличия газообразователя) пениться при температурах около 1000°С.



## Сравнительные характеристики пеностекла и стандартных теплоизоляторов

	ПЕНОСТЕКЛО		СТАНДАРТНЫЕ ТЕПЛОИЗОЛЯТОРЫ		
	тепло	звук	жесткая		
Свойства пеностекла	изоляционное	изоляционное	керамзит	минвата	пенобетон(газобетон)
Объемная масса, кг/м <sup>3</sup>	100-250	150-400	500-600	300-400	400-800
Коэффициент теплопроводности Вт/м*К	0.06 - 0.085		0.15 - 0.2	0.07 - 0.098	0.15 - 0.23
Коэффициент звукопоглощения, % при частоте 600-1200 Гц	15-20	55-70			
Прочность, МПа при сжатии	0.8 - 3.0	0.8 - 4.0	1.0 - 2.0	0.1 - 0.5	0.6 - 2.5
Прочность, МПа при изгибе	0.3 - 1.0	0.4 - 2.0			
Водопоглощение, объемных %	менее 5	60-80			
Температура эксплуатации, С	от -200 до +400	от -250 до +450			

# Технология получения пеностекла

- Тонко измельчённое силикатное стекло (частицы 2 — 10 мкм) смешивается с газообразователем (обычно — углеродом), получившаяся однородная механическая смесь (шихта) в формах, либо на конвейерной ленте поступает в специальную туннельную печь. В результате нагрева до 800—900°С частицы стекла размягчаются до вязко-жидкого состояния, а углерод окисляется с образованием газообразных  $\text{CO}_2$  и  $\text{CO}$ , которые и вспенивают стекломассу.



# Преимущества пеностекла

Наряду с отличными теплоизоляционными свойствами и полной экологической и гигиенической безопасностью, пеностекло имеет высокую прочность, безупречность, низкую плотность, долговечность, высокую морозостойкость и негорючесть, удобство обработки и простота монтажа, способность сохранять эти показатели на протяжении длительного времени постоянными. Материал стоек ко всем обычно применяемым кислотам и их парам, не подвержен поражению бактериями и грибами, непроходим для грызунов, не поддерживает горения, не выделяет дыма и токсичных веществ.

# Композиционные материалы

- **Определение:**

**Композиционный материал** (композит, КМ) — искусственно созданный неоднородный сплошной материал состоящий из двух или более компонентов с четкой границей раздела между ними.

В большинстве композитов (за исключением слоистых) компоненты можно разделить на матрицу и включенные в нее армирующие элементы. В композитах конструкционного назначения армирующие элементы обычно обеспечивают необходимые механические характеристики материала (прочность, жесткость и т.д.), а матрица (или связующее) обеспечивает совместную работу армирующих элементов и защиту их от механических повреждений и агрессивной химической среды.

# Классификация композитов

Композиты обычно классифицируются по виду армирующего наполнителя:[1]

- волокнистые (армирующий компонент — волокнистые структуры);
- слоистые;
- наполненные пластики (армирующий компонент — частицы)
- насыпные (гомогенные),
- скелетные (начальные структуры, наполненные связующим).

- 
- [1] Дж. Любин. 1.2 Термины и определения // Справочник по композиционным материалам: В 2-х кн = Handbook of Composites. — М.: Машиностроение, 1988. — Т. 1. — 448 с. — ISBN 5-217-00225-5

# Классификация композитов по материалу матрицы

- **Композиты с полимерной матрицей;**

В качестве матрицы при создании композиционных материалов данного вида используются полимеры самых разных типов: термопласты (полиолефины, алифатические и ароматические полиамиды, фторопласты и др.), реактопласты (фенопласты, аминопласты, эпоксидные, полиэфирные, кремнийорганические и другие полимерные связующие).

Пример: эпоксидная смола с порошковым наполнителем  $\text{TiO}_2$ ;



Углепластик



# Классификация композитов по материалу матрицы

- **Композиты с керамической матрицей;**

Композиты с керамической матрицей ( ceramic matrix composites) — композиты с оксидной, карбидной, нитридной или иной неорганической, неметаллической термостойкой матрицей.

Керамики являются материалами с высоким модулем упругости, высокой температурой плавления и высокой твердостью. Из-за присущей этим материалам хрупкости основная задача, решаемая посредством формирования композитных структур на их основе, — придание конструкционному материалу трещиностойкости. В таких композитах, в том числе с волокнистым армированием, это достигается, как правило, введением в структуру композита переходных, промежуточных слоев.

# Композиты с керамической матрицей

Пример: Твёрдые сплавы — твёрдые и износостойкие металлические материалы, способные сохранять эти свойства при 900—1150 °С. В основном изготавливаются из высокотвердых и тугоплавких материалов на основе карбидов вольфрама, титана, тантала, хрома, связанные кобальтовой металлической связкой, при различном содержании кобальта или никеля.

Получение порошков карбидов и кобальта методом восстановления из оксидов.

Измельчение порошков карбидов и кобальта (производится на шаровых мельницах в течение 2-3 суток) до 1-2 микрон.

Просеивание и повторное измельчение при необходимости.

Приготовление смеси (порошки смешивают в количествах, соответствующих химическому составу изготавливаемого сплава).

Холодное прессование (в смесь добавляют органический клей для временного сохранения формы).

Спекание под нагрузкой (горячее прессование) при 1400 °С (при 800—850 °С клей сгорает без остатка). При 1400 °С кобальт плавится и смачивает порошки карбидов, при последующем охлаждении кобальт кристаллизуется, соединяя между собой частицы карбидов.

## Литература по твердым сплавам

- ТВЕРДЫЕ СПЛАВЫ Справочник. Инженерный журнал с приложением. 2008. № S9. С. 6-7.
- УЛЬТРАМЕЛКОЗЕРНИСТЫЕ ТВЕРДЫЕ СПЛАВЫ Справочник. Инженерный журнал с приложением. 2008. № S9. С. 8-8.
- ТВЕРДЫЕ СПЛАВЫ С ИЗНОСОСТОЙКИМИ ПОКРЫТИЯМИ Справочник. Инженерный журнал с приложением. 2008. № S9. С. 9-12.
- ТВЕРДЫЕ СПЛАВЫ Масленков С.Б. Все материалы. Энциклопедический справочник. 2007. № 1. С. 18-21.
- НАНО- И УЛЬТРАДИСПЕРСНЫЕ ТВЕРДЫЕ СПЛАВЫ Фальковский В. А., Фальковский Ф.И., Панов В.С. Цветные металлы. 2007. № 10. С. 85-91.
- ТВЕРДЫЕ СПЛАВЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КАРБОНИТРИДОВ Пантелеев И.Б., Орданьян С.С. Вопросы материаловедения. 2007. № 2. С. 70-79.

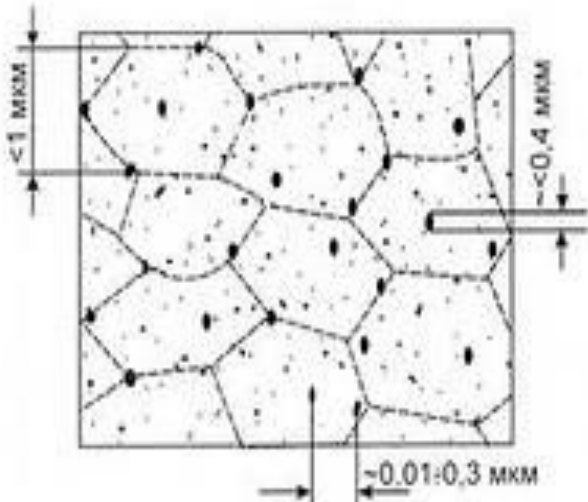
# Композиты с металлической матрицей

- Композиты с металлической матрицей разделяют на армированные волокнами (волокнистые композиты) и наполненные тонкодисперсными частицами, не растворяющимися в основном металле (дисперсно-упрочненные композиты).

Типичными композитами с металлической матрицей являются бороалюминий (волокно бора — матрица на основе алюминиевых сплавов), углеалюминий (композиты с углеволокном), композиты с волокном карбида кремния в титановой или титан-алюминиевой матрице, а также с оксидными волокнами в матрице на основе никеля. Последние позволяют существенно поднять (до 1200 °С) рабочую температуру жаропрочных материалов.



# Композиты с металлической матрицей



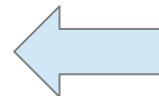
Структура металлического внутренне дисперсно упрочненного материала



Медно-алмазные электротехнические контакты



Завод по производству медно - алмазных электротехнических контактов в г.Харбин (КНР)

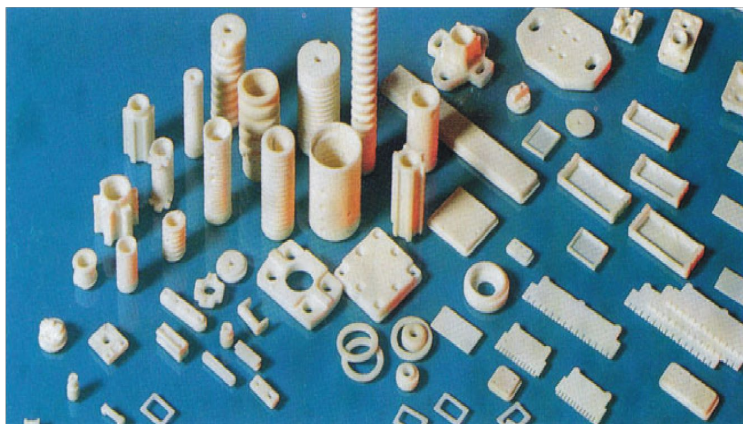


# Оксид -оксидные композиты

Оксид-оксидные композиты, содержащие оксидные волокна и оксидную матрицу, наряду с композитами SiC-SiC — важнейший тип высокотермостойких композитов, активно разрабатываемый в последнее десятилетие.

Поскольку все ингредиенты в таком композите хрупкие, то торможение трещины при нагружении, и, следовательно, обеспечение нехрупкого поведения может быть достигнуто одним из способов, характерных для композитов с керамической матрицей. Для этого в композит вводят ингредиенты, образующие слабую границу раздела. Такая граница возникает, например, в результате нанесения специального покрытия на волокно, которое обычно состоит либо из легко деформируемых оксидов типа  $ABO_4$  (например,  $LaVO_4$ ,  $LaPO_4$ ), либо из сильно анизотропных оксидов, таких, как гексаалюминат кальция  $CaAl_2O_9$ . Аналогичный результат достигается, если специальным образом организовать пористость матрицы.

# Примеры оксид — оксидных композитов



Радиотехническая и  
электротехническая керамика  
( $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2 + \text{MgO}$ )

# Дмитрий Иванович Менделеев



Суть открытия Менделеева заключалась в том, что с увеличением атомной массы элементов происходит периодическое изменение их свойств. После определенного количества элементов, различных по свойствам и расположенных по возрастанию атомного веса, свойства начинают повторяться.

В 1871 году работы ученого легли в основу периодического закона, сформулированного Менделеевым.



# Полная периодическая таблица Менделеева

ПЕРИОДЫ	РЯДЫ	ГРУППЫ										
		A I B	A II B	A III B	A IV B	A V B	A VI B	A VII B	A VIII B	A VIII B	A VIII B	
1	1	<b>H</b> <sup>1</sup> 1,0079 1s <sup>1</sup> Водород							<b>He</b> <sup>2</sup> 4,00260 1s <sup>2</sup> Гелий			
2	2	<b>Li</b> <sup>3</sup> 6,941 2s <sup>1</sup> Литий	<b>Be</b> <sup>4</sup> 9,01218 2s <sup>2</sup> Бериллий	<b>B</b> <sup>5</sup> 10,81 2s <sup>2</sup> 2p <sup>1</sup> Бор	<b>C</b> <sup>6</sup> 12,011 2s <sup>2</sup> 2p <sup>2</sup> Углерод	<b>N</b> <sup>7</sup> 14,0067 2s <sup>2</sup> 2p <sup>3</sup> Азот	<b>O</b> <sup>8</sup> 15,9994 2s <sup>2</sup> 2p <sup>4</sup> Кислород	<b>F</b> <sup>9</sup> 18,9984 2s <sup>2</sup> 2p <sup>5</sup> Фтор	<b>Ne</b> <sup>10</sup> 20,179 2s <sup>2</sup> 2p <sup>6</sup> Неон			
3	3	<b>Na</b> <sup>11</sup> 22,9898 3s <sup>1</sup> Натрий	<b>Mg</b> <sup>12</sup> 24,305 3s <sup>2</sup> Магний	<b>Al</b> <sup>13</sup> 26,9815 3s <sup>2</sup> 3p <sup>1</sup> Алюминий	<b>Si</b> <sup>14</sup> 28,0855 3s <sup>2</sup> 3p <sup>2</sup> Кремний	<b>P</b> <sup>15</sup> 30,9738 3s <sup>2</sup> 3p <sup>3</sup> Фосфор	<b>S</b> <sup>16</sup> 32,06 3s <sup>2</sup> 3p <sup>4</sup> Сера	<b>Cl</b> <sup>17</sup> 35,453 3s <sup>2</sup> 3p <sup>5</sup> Хлор	<b>Ar</b> <sup>18</sup> 39,948 3s <sup>2</sup> 3p <sup>6</sup> Аргон			
4	4	<b>K</b> <sup>19</sup> 39,0983 4s <sup>1</sup> Калий	<b>Ca</b> <sup>20</sup> 40,08 4s <sup>2</sup> Кальций	<b>Sc</b> <sup>21</sup> 44,9559 3d <sup>1</sup> 4s <sup>2</sup> Скандий	<b>Ti</b> <sup>22</sup> 47,88 3d <sup>2</sup> 4s <sup>2</sup> Титан	<b>V</b> <sup>23</sup> 50,9415 3d <sup>3</sup> 4s <sup>2</sup> Ванадий	<b>Cr</b> <sup>24</sup> 51,996 3d <sup>5</sup> 4s <sup>1</sup> Хром	<b>Mn</b> <sup>25</sup> 54,938 3d <sup>5</sup> 4s <sup>2</sup> Марганец	<b>Fe</b> <sup>26</sup> 55,847 3d <sup>6</sup> 4s <sup>2</sup> Железо	<b>Co</b> <sup>27</sup> 58,9332 3d <sup>7</sup> 4s <sup>2</sup> Кобальт	<b>Ni</b> <sup>28</sup> 58,69 3d <sup>8</sup> 4s <sup>2</sup> Никель	
	5	<b>Cu</b> <sup>29</sup> 63,546 3d <sup>10</sup> 4s <sup>1</sup> Медь	<b>Zn</b> <sup>30</sup> 65,38 3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> Цинк	<b>Ga</b> <sup>31</sup> 69,72 4s <sup>2</sup> 4p <sup>1</sup> Галлий	<b>Ge</b> <sup>32</sup> 72,59 4s <sup>2</sup> 4p <sup>2</sup> Германий	<b>As</b> <sup>33</sup> 74,9216 4s <sup>2</sup> 4p <sup>3</sup> Мышьяк	<b>Se</b> <sup>34</sup> 78,96 4s <sup>2</sup> 4p <sup>4</sup> Селен	<b>Br</b> <sup>35</sup> 79,904 4s <sup>2</sup> 4p <sup>5</sup> Бром	<b>Kr</b> <sup>36</sup> 83,80 4s <sup>2</sup> 4p <sup>6</sup> Криптон			
5	6	<b>Rb</b> <sup>37</sup> 85,4678 5s <sup>1</sup> Рубидий	<b>Sr</b> <sup>38</sup> 87,62 5s <sup>2</sup> Стронций	<b>Y</b> <sup>39</sup> 88,9059 4d <sup>1</sup> 5s <sup>2</sup> Иттрий	<b>Zr</b> <sup>40</sup> 91,22 4d <sup>2</sup> 5s <sup>2</sup> Цирконий	<b>Nb</b> <sup>41</sup> 92,9064 4d <sup>4</sup> 5s <sup>1</sup> Ниобий	<b>Mo</b> <sup>42</sup> 95,94 4d <sup>5</sup> 5s <sup>1</sup> Молибден	<b>Tc</b> <sup>43</sup> [98] 4d <sup>5</sup> 5s <sup>2</sup> Технеций	<b>Ru</b> <sup>44</sup> 101,07 4d <sup>6</sup> 5s <sup>1</sup> Рутений	<b>Rh</b> <sup>45</sup> 102,905 4d <sup>7</sup> 5s <sup>1</sup> Родий	<b>Pd</b> <sup>46</sup> 106,42 4d <sup>10</sup> 5s <sup>0</sup> Палладий	
	7	<b>Ag</b> <sup>47</sup> 107,868 4d <sup>10</sup> 5s <sup>1</sup> Серебро	<b>Cd</b> <sup>48</sup> 112,41 4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup> Кадмий	<b>In</b> <sup>49</sup> 114,82 5s <sup>2</sup> 5p <sup>1</sup> Индий	<b>Sn</b> <sup>50</sup> 118,69 5s <sup>2</sup> 5p <sup>2</sup> Олово	<b>Sb</b> <sup>51</sup> 121,75 5s <sup>2</sup> 5p <sup>3</sup> Сурьма	<b>Te</b> <sup>52</sup> 127,60 5s <sup>2</sup> 5p <sup>4</sup> Теллур	<b>I</b> <sup>53</sup> 126,904 5s <sup>2</sup> 5p <sup>5</sup> Иод	<b>Xe</b> <sup>54</sup> 131,29 5s <sup>2</sup> 5p <sup>6</sup> Ксенон			
6	8	<b>Cs</b> <sup>55</sup> 132,905 6s <sup>1</sup> Цезий	<b>Ba</b> <sup>56</sup> 137,33 6s <sup>2</sup> Барий	<b>La</b> <sup>57</sup> 138,905 5d <sup>1</sup> 6s <sup>2</sup> Лантан	<b>Hf</b> <sup>72</sup> 178,49 5d <sup>2</sup> 6s <sup>2</sup> Гафний	<b>Ta</b> <sup>73</sup> 180,9479 5d <sup>4</sup> 6s <sup>2</sup> Тантал	<b>W</b> <sup>74</sup> 183,85 5d <sup>4</sup> 6s <sup>2</sup> Вольфрам	<b>Re</b> <sup>75</sup> 186,207 5d <sup>5</sup> 6s <sup>2</sup> Рений	<b>Os</b> <sup>76</sup> 190,2 5d <sup>6</sup> 6s <sup>2</sup> Осмий	<b>Ir</b> <sup>77</sup> 192,22 5d <sup>7</sup> 6s <sup>2</sup> Иридий	<b>Pt</b> <sup>78</sup> 195,08 5d <sup>9</sup> 6s <sup>1</sup> Платина	
	9	<b>Au</b> <sup>79</sup> 196,967 5d <sup>10</sup> 6s <sup>1</sup> Золото	<b>Hg</b> <sup>80</sup> 200,59 5d <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup> Ртуть	<b>Tl</b> <sup>81</sup> 204,383 6s <sup>2</sup> 6p <sup>1</sup> Таллий	<b>Pb</b> <sup>82</sup> 207,2 6s <sup>2</sup> 6p <sup>2</sup> Свинец	<b>Bi</b> <sup>83</sup> 208,980 6s <sup>2</sup> 6p <sup>3</sup> Висмут	<b>Po</b> <sup>84</sup> [209] 6s <sup>2</sup> 6p <sup>4</sup> Полоний	<b>At</b> <sup>85</sup> [210] 6s <sup>2</sup> 6p <sup>5</sup> Астат	<b>Rn</b> <sup>86</sup> [222] 6s <sup>2</sup> 6p <sup>6</sup> Радон			
7	10	<b>Fr</b> <sup>87</sup> [223] 7s <sup>1</sup> Франций	<b>Ra</b> <sup>88</sup> 226,025 7s <sup>2</sup> Радий	<b>Ac</b> <sup>89</sup> 227,028 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup> Актиний	<b>Rf</b> <sup>104</sup> [261] 6d <sup>2</sup> 7s <sup>2</sup> Резерфордий	<b>Db</b> <sup>105</sup> [262] 6d <sup>3</sup> 7s <sup>2</sup> Дубний	<b>Sg</b> <sup>106</sup> [266] 6d <sup>4</sup> 7s <sup>2</sup> Сиборгий	<b>Bh</b> <sup>107</sup> [264] 6d <sup>5</sup> 7s <sup>2</sup> Борий	<b>Hs</b> <sup>108</sup> [269] 6d <sup>6</sup> 7s <sup>2</sup> Гассний	<b>Mt</b> <sup>109</sup> [268] 6d <sup>7</sup> 7s <sup>2</sup> Мейтнерий	<b>110</b> [271] 6d <sup>8</sup> 7s <sup>1</sup> Дармштадт	
	11	<b>111</b> [272] 6d <sup>10</sup> 7s <sup>1</sup> Дармштадт	<b>112</b> [277] 6d <sup>10</sup> 7s <sup>2</sup> Дармштадт	<b>113</b> [284] 7s <sup>2</sup> 7p <sup>1</sup> Дармштадт	<b>114</b> [289] 7s <sup>2</sup> 7p <sup>2</sup> Дармштадт	<b>115</b> [288] 7s <sup>2</sup> 7p <sup>3</sup> Дармштадт	<b>116</b> [289] 7s <sup>2</sup> 7p <sup>4</sup> Дармштадт	<b>117</b> [289] 7s <sup>2</sup> 7p <sup>5</sup> Дармштадт	<b>118</b> [289] 7s <sup>2</sup> 7p <sup>6</sup> Дармштадт			

\*Лантаниды (лантаноиды)

<b>58 Ce</b> <sup>140,12</sup> 4f <sup>1</sup> 5d <sup>1</sup> 6s <sup>2</sup> Церий	<b>59 Pr</b> <sup>140,908</sup> 4f <sup>3</sup> 6s <sup>2</sup> Прометий	<b>60 Nd</b> <sup>144,24</sup> 4f <sup>4</sup> 6s <sup>2</sup> Неодим	<b>61 Pm</b> <sup>[145]</sup> 4f <sup>5</sup> 6s <sup>2</sup> Прометий	<b>62 Sm</b> <sup>150,36</sup> 4f <sup>6</sup> 6s <sup>2</sup> Самарий	<b>63 Eu</b> <sup>151,96</sup> 4f <sup>7</sup> 6s <sup>2</sup> Европий	<b>64 Gd</b> <sup>157,25</sup> 4f <sup>7</sup> 5d <sup>1</sup> 6s <sup>2</sup> Гадолиний	<b>65 Tb</b> <sup>158,925</sup> 4f <sup>9</sup> 6s <sup>2</sup> Тербий	<b>66 Dy</b> <sup>162,50</sup> 4f <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup> Диспрозий	<b>67 Ho</b> <sup>164,930</sup> 4f <sup>11</sup> 6s <sup>2</sup> Гольмий	<b>68 Er</b> <sup>167,26</sup> 4f <sup>12</sup> 6s <sup>2</sup> Эрбий	<b>69 Tm</b> <sup>168,934</sup> 4f <sup>13</sup> 6s <sup>2</sup> Тулий	<b>70 Yb</b> <sup>173,04</sup> 4f <sup>14</sup> 6s <sup>2</sup> Иттербий	<b>71 Lu</b> <sup>174,967</sup> 4f <sup>14</sup> 5d <sup>1</sup> 6s <sup>2</sup> Лютеций
--	--	---	--	--	--	--	--	---	--	---	--	--	--

\*\*Актиниды (актиноиды)

<b>90 Th</b> <sup>232,038</sup> 6d <sup>2</sup> 7s <sup>2</sup> Торий	<b>91 Pa</b> <sup>231,036</sup> 5f <sup>2</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup> Протактиний	<b>92 U</b> <sup>238,029</sup> 5f <sup>3</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup> Уран	<b>93 Np</b> <sup>237,048</sup> 5f <sup>4</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup> Нептуний	<b>94 Pu</b> <sup>[244]</sup> 5f <sup>6</sup> 7s <sup>2</sup> Плутоний	<b>95 Am</b> <sup>[243]</sup> 5f <sup>7</sup> 7s <sup>2</sup> Америций	<b>96 Cm</b> <sup>[247]</sup> 5f <sup>7</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup> Кюриум	<b>97 Bk</b> <sup>[247]</sup> 5f <sup>9</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup> Берклий	<b>98 Cf</b> <sup>[251]</sup> 5f <sup>10</sup> 7s <sup>2</sup> Калифорний	<b>99 Es</b> <sup>[252]</sup> 5f <sup>11</sup> 7s <sup>2</sup> Эйнштейний	<b>100 Fm</b> <sup>[257]</sup> 5f <sup>12</sup> 7s <sup>2</sup> Фермий	<b>101 Md</b> <sup>[260]</sup> 5f <sup>13</sup> 7s <sup>2</sup> Менделеев	<b>102 No</b> <sup>[259]</sup> 5f <sup>14</sup> 7s <sup>2</sup> Нобелий	<b>103 Lr</b> <sup>[262]</sup> 4f <sup>14</sup> 5d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup> Лоуренс
---	---	---	--	--	--	--	---	---	---	--	---	---	---