

PHY2782 - СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ НАУК О МАТЕРИАЛАХ И ПРОЦЕССАХ

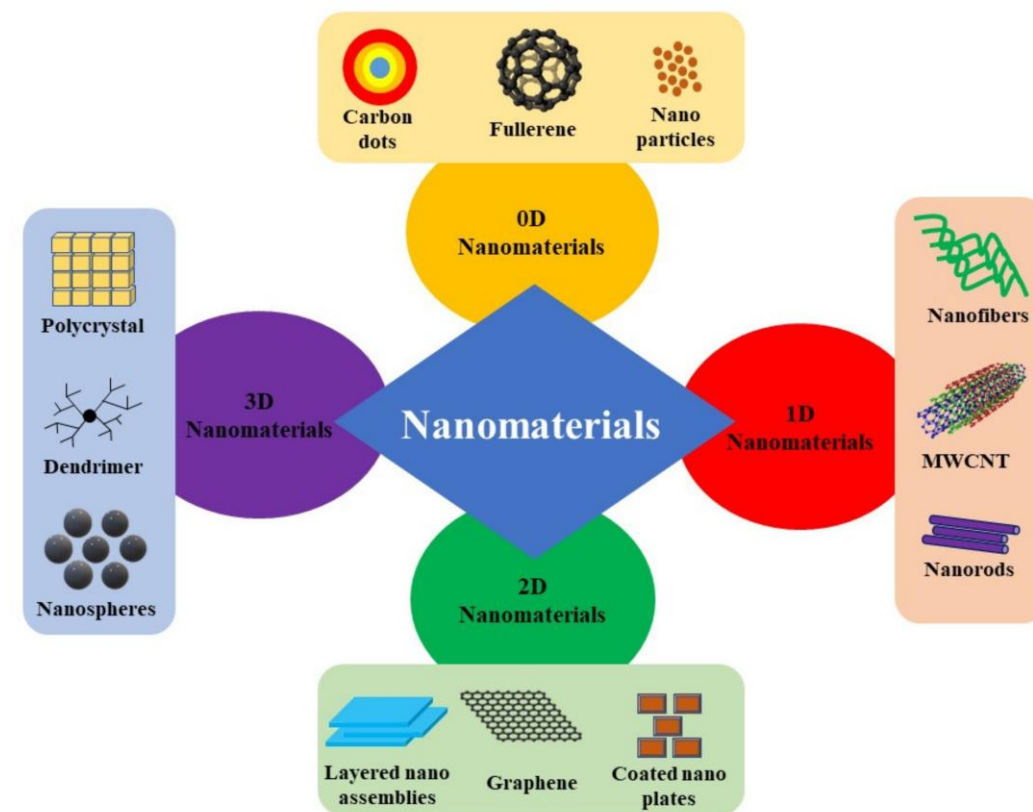
2 – Лекция Современные направления развития наук о материалах и процессах

7M07103 – Материаловедение и технология новых материалов

5 кредита (2/0/1/2)

Семестр: 3, весенний, 2025-2026 учебный год

лектор: Керимкулова Алмагуль Рыскуловна – к.х.н., ассоц.профессор



Введение

- Современное материаловедение представляет собой междисциплинарную область науки, изучающую взаимосвязь между составом, структурой, свойствами и технологией получения материалов. В XXI веке развитие науки о материалах стало одним из ключевых факторов технологического прогресса и инновационного развития промышленности.
- Материалы нового поколения обеспечивают создание высокоэффективных, энергоэкономичных и экологически безопасных технологий. Развитие современных методов синтеза, нанотехнологий и компьютерного моделирования позволило перейти от эмпирического подбора веществ к целенаправленному проектированию материалов с заданными свойствами.
- В настоящее время наука о материалах охватывает широкий спектр направлений — от **наноматериалов и композиционных систем** до **функциональных покрытий, биоматериалов и интеллектуальных структур**. Их исследование и применение играют решающую роль в энергетике, медицине, электронике, строительстве и авиационно-космической отрасли.
- Таким образом, изучение современных направлений развития наук о материалах и процессах является необходимым условием для понимания фундаментальных принципов инженерии будущего и создания устойчивых технологических решений.

Исторические предпосылки развития материаловедения

- Развитие науки о материалах имеет глубокие исторические корни и тесно связано с эволюцией человеческой цивилизации. Каждый исторический этап характеризуется использованием определённых материалов, что отражается даже в названиях эпох — **каменный, бронзовый, железный век**. Уже на ранних стадиях человек осознал зависимость между способом обработки вещества и его свойствами.
- Формирование систематических знаний о материалах началось в XVIII–XIX веках, когда были заложены основы **металлургии, кристаллографии, термодинамики и физики твёрдого тела**. В этот период появились первые модели строения кристаллических решёток, объясняющие взаимосвязь структуры и свойств.
- XX век стал эпохой бурного развития материаловедения как самостоятельной научной дисциплины. Возникли новые направления — **физическое материаловедение, химия твёрдого тела, поверхностная инженерия**. Широкое применение получили электронная микроскопия, рентгеноструктурный анализ и методы дифференциальной термоаналитики.
- С середины XX века акцент сместился на разработку **высокопрочных сплавов, полимерных и композиционных материалов**, а к концу века — на **наноматериалы и функциональные покрытия**. В настоящее время развитие материаловедения основано на синергии экспериментальных исследований, вычислительного моделирования и нанотехнологий.



Основные направления современной науки о материалах



- Современная наука о материалах представляет собой интеграцию физики, химии, механики, биотехнологии и вычислительных методов. Её развитие направлено на создание веществ с заранее заданными свойствами и контролируемыми структурами на атомном и наноуровне.
- Основные направления современной материаловедческой науки включают:
- **Нanomатериалы и нанотехнологии** — исследование свойств веществ в наноразмерном диапазоне (1–100 нм), где проявляются квантовые эффекты и новые физико-химические закономерности.
- **Композитные и многослойные материалы** — сочетание различных фаз с целью получения уникального комплекса механических, тепловых и электрических характеристик.
- **Интеллектуальные (умные) материалы** — системы, способные реагировать на внешние воздействия (температуру, давление, свет, электрическое поле) изменением своих свойств.
- **Биоматериалы** — материалы, совместимые с живыми тканями, применяемые в медицине, протезировании и регенеративной инженерии.
- **Функциональные покрытия и тонкие плёнки** — использование поверхностных технологий для защиты и улучшения эксплуатационных свойств изделий.
- **Материалы для энергетики и экологии** — разработка веществ, повышающих эффективность хранения и преобразования энергии, а также снижающих экологическую нагрузку.
- Эти направления формируют основу современной инженерии материалов и способствуют переходу от традиционных технологий к **высокоточным, ресурсосберегающим и устойчивым системам.**

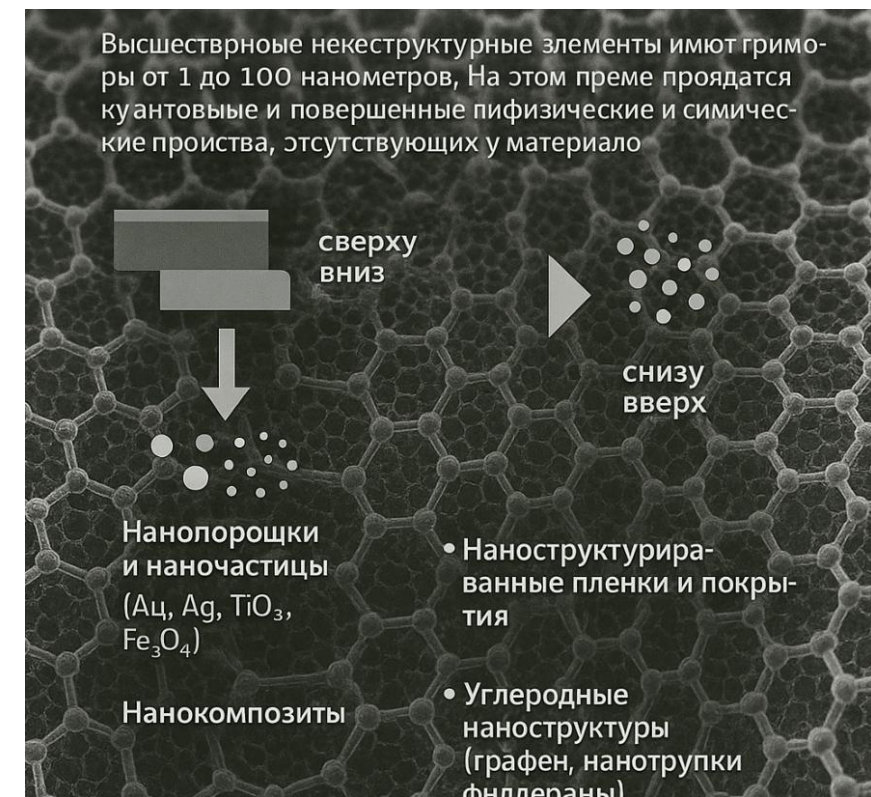
Новые конструкционные материалы

- Современные конструкционные материалы разрабатываются с целью повышения прочности, долговечности и термостойкости изделий при одновременном снижении их массы и себестоимости. Основной задачей современной инженерии является создание материалов, способных эффективно работать в экстремальных условиях — при высоких температурах, давлениях и механических нагрузках.
- К числу наиболее перспективных классов конструкционных материалов относятся:
- **Высокопрочные наноструктурированные сплавы** (например, нанокристаллические стали и алюминиевые сплавы), обладающие сочетанием высокой прочности и пластичности благодаря контролируемому размеру зерна.
- **Интерметаллидные соединения** (TiAl, Ni₃Al и др.), отличающиеся высокой жаропрочностью и устойчивостью к окислению, что делает их незаменимыми в авиационно-турбинных системах.
- **Керамические композиции** (Si₃N₄, ZrO₂, Al₂O₃), используемые в условиях повышенной температуры и износа благодаря их высокой твёрдости и химической инертности.
- **Полимерные и углеродные композиты**, отличающиеся лёгкостью и высокой прочностью при растяжении; применяются в авиакосмической и автомобильной промышленности.
- Современные исследования направлены на комбинирование традиционных и наноструктурированных подходов, что позволяет получать **гибридные материалы с многоуровневой иерархической структурой**, обладающие уникальным балансом массы, прочности и пластичности.



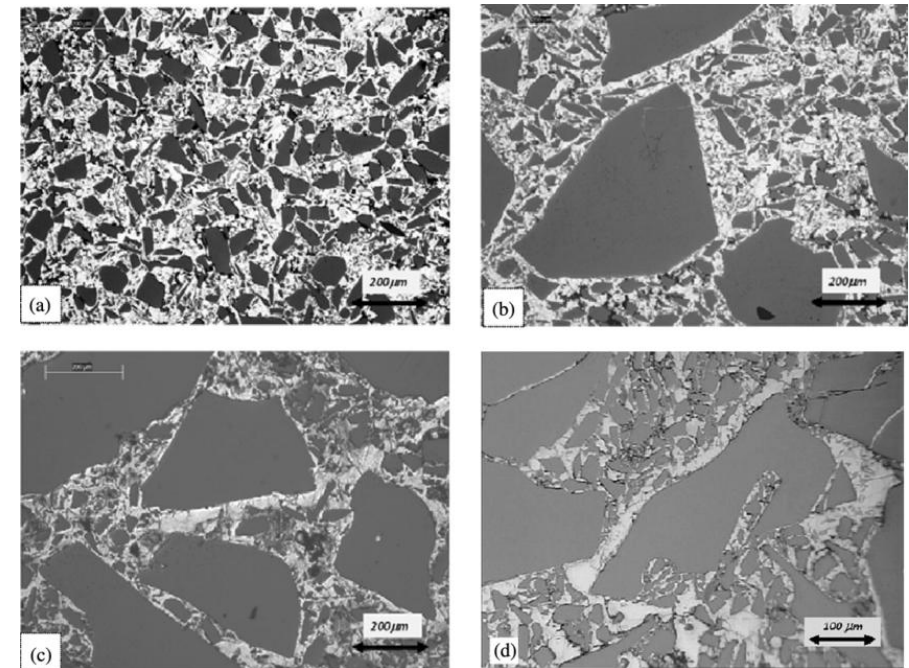
Наноматериалы и нанотехнологии

- Наноматериалы — это вещества, структурные элементы которых имеют размеры от 1 до 100 нанометров. На этом уровне проявляются **квантовые и поверхностные эффекты**, приводящие к появлению новых физических и химических свойств, отсутствующих у материалов в макромасштабе.
- Развитие **нанотехнологий** позволило перейти от традиционного «сверху вниз» подхода (механическое измельчение вещества) к методу «**снизу вверх**», основанному на атомно-молекулярном синтезе структур с заданными параметрами. Такие методы обеспечивают контроль формы, размера и морфологии наночастиц, что определяет их функциональные характеристики.
- Основные типы наноматериалов включают:
- **Нанопорошки и наночастицы** (Au, Ag, TiO₂, Fe₃O₄) — применяются в катализе, медицине и сенсорики;
- **Наноструктурированные плёнки и покрытия** — используются для повышения твёрдости, коррозионной и термической стойкости поверхностей;
- **Нанокompозиты** — сочетают прочность и лёгкость, применяются в авиации и машиностроении;
- **Углеродные наноструктуры** (графен, нанотрубки, фуллерены) — обладают высокой электропроводностью, теплопроводностью и механической прочностью.
- Современные нанотехнологии объединяют достижения **физики, химии, биологии и инженерии**, обеспечивая разработку новых функциональных систем — от квантовых сенсоров и оптоэлектронных устройств до медицинских нанороботов и экологически безопасных технологий.



Композиционные материалы

- Композиционные материалы (композиты) представляют собой многокомпонентные системы, состоящие из **матрицы** и **армирующей фазы**, обладающие улучшенным комплексом физико-механических и эксплуатационных свойств. Их ключевая особенность — сочетание прочности и жёсткости армирующих элементов с пластичностью и вязкостью матрицы.
- Современные композиты классифицируются по типу матрицы:
- **Металлические композиты** (Al–SiC, Ti–B₄C) — отличаются высокой прочностью, термостойкостью и стойкостью к износу, применяются в авиации и ракетостроении;
- **Полимерные композиты** (углерод- или стекловолокно в эпоксидной смоле) — обладают малой плотностью и высокой жёсткостью, широко используются в автомобильной промышленности и строительстве;
- **Керамические композиты** (SiC–Al₂O₃, ZrO₂–TiN) — устойчивы к высоким температурам, имеют высокую твёрдость и химическую стабильность, используются в энергетике и микроэлектронике.
- Основным преимуществом композитов является **возможность направленного конструирования свойств** за счёт изменения состава, ориентации и распределения армирующих волокон или частиц. Это позволяет создавать материалы с заданными параметрами — от лёгких, ударопрочных до сверхжаростойких и радиационно-стойких.
- Благодаря высокой удельной прочности и долговечности, композиционные материалы занимают ключевое место в разработке конструкций нового поколения, обеспечивая **повышение энергоэффективности и снижение массы изделий** при сохранении их надёжности.



Оптическая микроструктура композитов с металлической матрицей Al/SiC
Р. (a) Al/0,41 SiC, (b) Al/0,45 SiC, (c) Al/0,54 SiC и (d) Al/0,67 SiC.

Умные (интеллектуальные) материалы

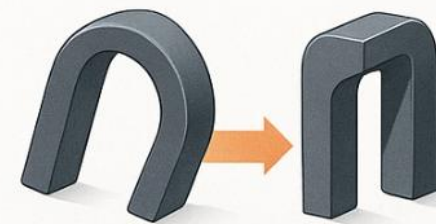
- Интеллектуальные, или «умные» материалы (smart materials), — это функциональные системы, способные **самостоятельно изменять свои свойства** в ответ на внешние воздействия, такие как температура, давление, электрическое или магнитное поле, влажность, свет или механическая нагрузка.
- Основная особенность таких материалов заключается в наличии **обратной связи между внешним воздействием и реакцией системы**. Благодаря этому они могут выполнять функции сенсора, актуатора и контроллера одновременно, что делает их незаменимыми элементами в современных адаптивных технологиях.
- К основным типам интеллектуальных материалов относятся:
- **Пьезоэлектрические материалы** (например, PZT, BaTiO₃), способные преобразовывать механическую энергию в электрическую и наоборот;
- **Материалы с памятью формы** (сплавы NiTi, CuAlNi), которые восстанавливают исходную форму при нагревании после деформации;
- **Магнитореологические жидкости** — изменяют вязкость под воздействием магнитного поля и применяются в активных амортизаторах и виброзащитах;
- **Электрохромные материалы** — изменяют цвет или прозрачность при подаче электрического напряжения, используются в «умных окнах» и дисплеях.
- Интеллектуальные материалы открывают возможности для создания **саморегулирующихся конструкций, энергоэффективных систем управления, биомиметических механизмов и умных сенсорных сетей**. Их применение охватывает аэрокосмическую технику, медицину, робототехнику, гражданское строительство и транспорт.

SMART MATERIALS

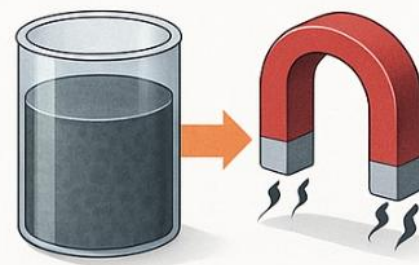
STIMULUS → RESPONSE



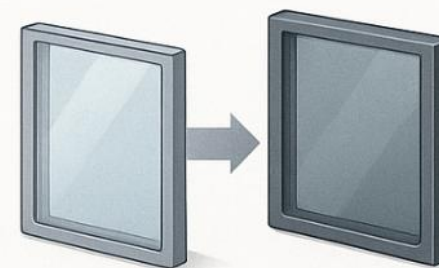
Piezoelectric materials –
convert mechanical force
↔ electrical output



Shape memory alloys –
recover shape with
temperature change



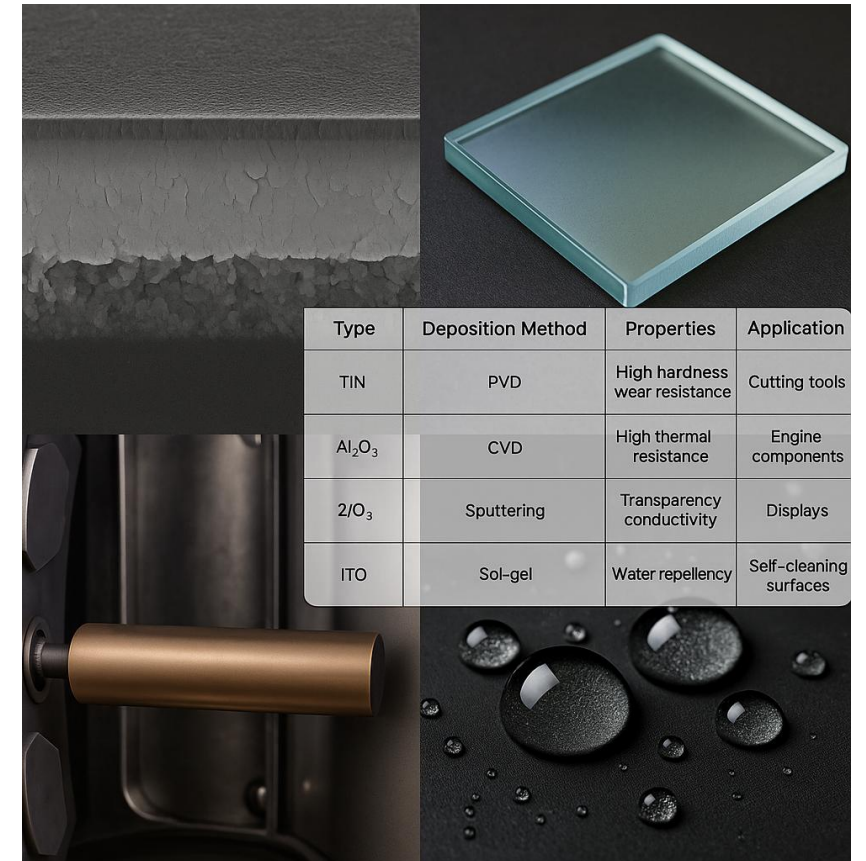
Magnetorheological fluids –
change viscosity in
magnetic field



Electrochromic materials –
change color/transparency
under voltage

Функциональные покрытия и тонкие плёнки

- Функциональные покрытия и тонкие плёнки — это материалы, наносимые на поверхность изделий с целью придания им **специальных свойств**, таких как износостойкость, коррозионная стойкость, оптическая прозрачность, электропроводность или биосовместимость. Толщина таких слоёв варьируется от нескольких нанометров до десятков микрон.
- Современные технологии получения тонких плёнок включают **физические (PVD)** и **химические (CVD)** методы осаждения, **ионно-плазменное напыление**, **лазерную абляцию** и **сол-гель процессы**. Эти методы обеспечивают высокую адгезию покрытия, равномерность толщины и контроль химического состава.
- Примеры функциональных покрытий:
 - **TiN и CrN покрытия** — обеспечивают высокую твёрдость и износостойкость режущего инструмента;
 - **Al₂O₃ и ZrO₂ слои** — повышают термостойкость деталей двигателей;
 - **ITO (оксид индия-олова)** — прозрачное электропроводящее покрытие, применяемое в дисплеях и солнечных батареях;
 - **Гидрофобные наноплёнки** — предотвращают загрязнение и смачивание поверхностей;
 - **Биосовместимые покрытия** (TiO₂, гидроксиапатит) — используются для имплантатов и медицинских протезов.
- Функциональные покрытия играют ключевую роль в развитии **нано- и микроэлектроники, энергетики, оптики, медицины и машиностроения**, обеспечивая долговечность и устойчивость изделий при эксплуатации в экстремальных условиях.
- Современные исследования направлены на создание **мультислойных наноструктурированных покрытий**, обладающих комбинацией свойств — твёрдости, эластичности и самоочищающей способности, что открывает путь к материалам нового поколения.

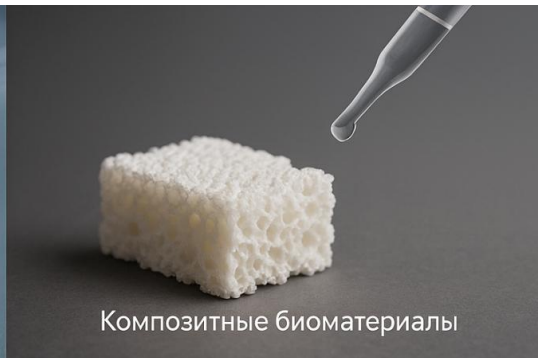


Биоматериалы

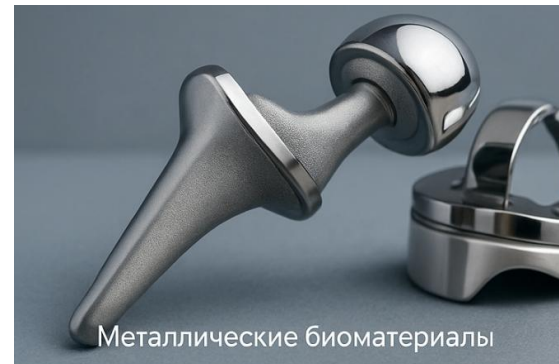
- Биоматериалы — это материалы, предназначенные для **взаимодействия с биологическими системами** с целью замещения, восстановления или улучшения функций тканей и органов. Они сочетают физико-механические, химические и биологические свойства, обеспечивающие совместимость с живыми организмами и отсутствие токсичности.
- Современные биоматериалы классифицируются на несколько основных групп:
- **Металлические биоматериалы** (Ti, Ti–6Al–4V, Co–Cr сплавы) — обладают высокой прочностью, коррозионной стойкостью и биоинертностью; применяются в эндопротезировании и ортопедии.
- **Керамические биоматериалы** (гидроксиапатит, биоактивное стекло, Al_2O_3) — обеспечивают остеоинтеграцию и применяются для покрытия имплантатов.
- **Полимерные биоматериалы** (полиэтилен, полилактид, полиуретан) — характеризуются гибкостью, лёгкостью и хорошей биосовместимостью; используются в тканевой инженерии, каркасах и системах контролируемого высвобождения лекарств.
- **Композитные биоматериалы** — объединяют преимущества нескольких фаз (например, полимер–гидроксиапатит) для создания оптимальной структуры, близкой по свойствам к природным тканям.



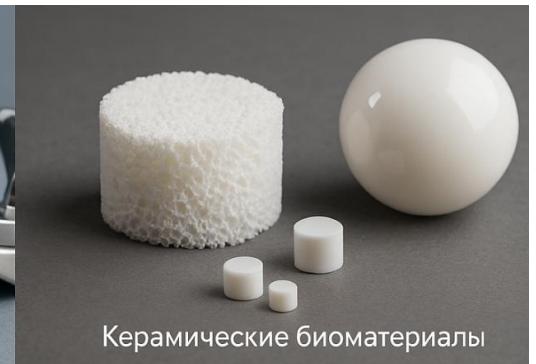
Полимерные биоматериалы



Композитные биоматериалы



Металлические биоматериалы



Керамические биоматериалы

Энергетические материалы и зелёные технологии

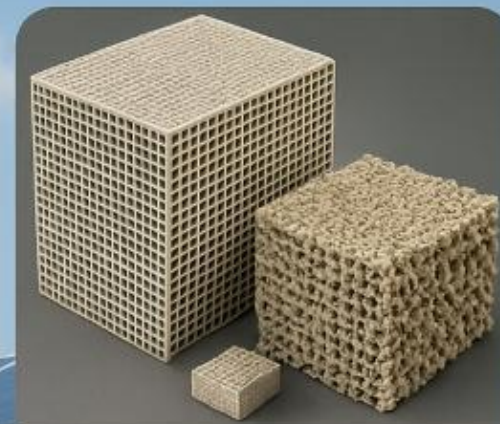
- Энергетические материалы — это вещества, обладающие способностью **аккумулировать, преобразовывать и эффективно передавать энергию** в различных формах. Они лежат в основе современного энергетического машиностроения, альтернативных источников энергии и экологически чистых технологий.
- Современное развитие энергетических материалов направлено на повышение **энергоэффективности, долговечности и экологической безопасности**. Ключевое внимание уделяется снижению углеродного следа и переходу к возобновляемым источникам энергии.
- Основные классы энергетических материалов:
- **Электрохимические материалы** — применяются в аккумуляторах, суперконденсаторах и топливных элементах (Li-ion, Na-ion, графен, оксиды переходных металлов);
- **Фотонные и фотовольтаические материалы** — поглощают солнечное излучение и преобразуют его в электричество (Si, GaAs, перовскиты, TiO_2 , Cu_2O);
- **Термостойкие и теплоаккумулирующие материалы** — обеспечивают работу систем при экстремальных температурах (керамики, фазопереходные соединения);
- **Каталитические наноматериалы** — ускоряют химические реакции в процессах очистки газов и получения водорода.
- Важным направлением развития является **зелёная энергетика**, включающая производство биотоплива, переработку отходов, использование солнечных и ветровых установок, а также разработку **биоразлагаемых и энергоактивных нанокомпозитов**.
- Энергетические материалы нового поколения обладают совокупностью характеристик — **высокой плотностью энергии, стабильностью, экологичностью и возможностью вторичной переработки**. Их внедрение способствует созданию устойчивой энергетической инфраструктуры и переходу к **экономике замкнутого цикла**.



Электрохимические материалы



Фотонные и фотовольтаические материалы



Термостойкие и теплоаккумулирующие материалы



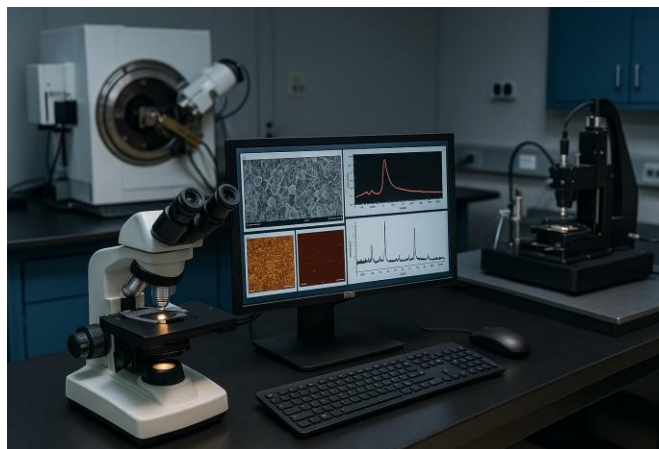
Каталитические наноматериалы

Тип материала

Применение

Энергетическая функция

Современные методы исследования и моделирования материалов



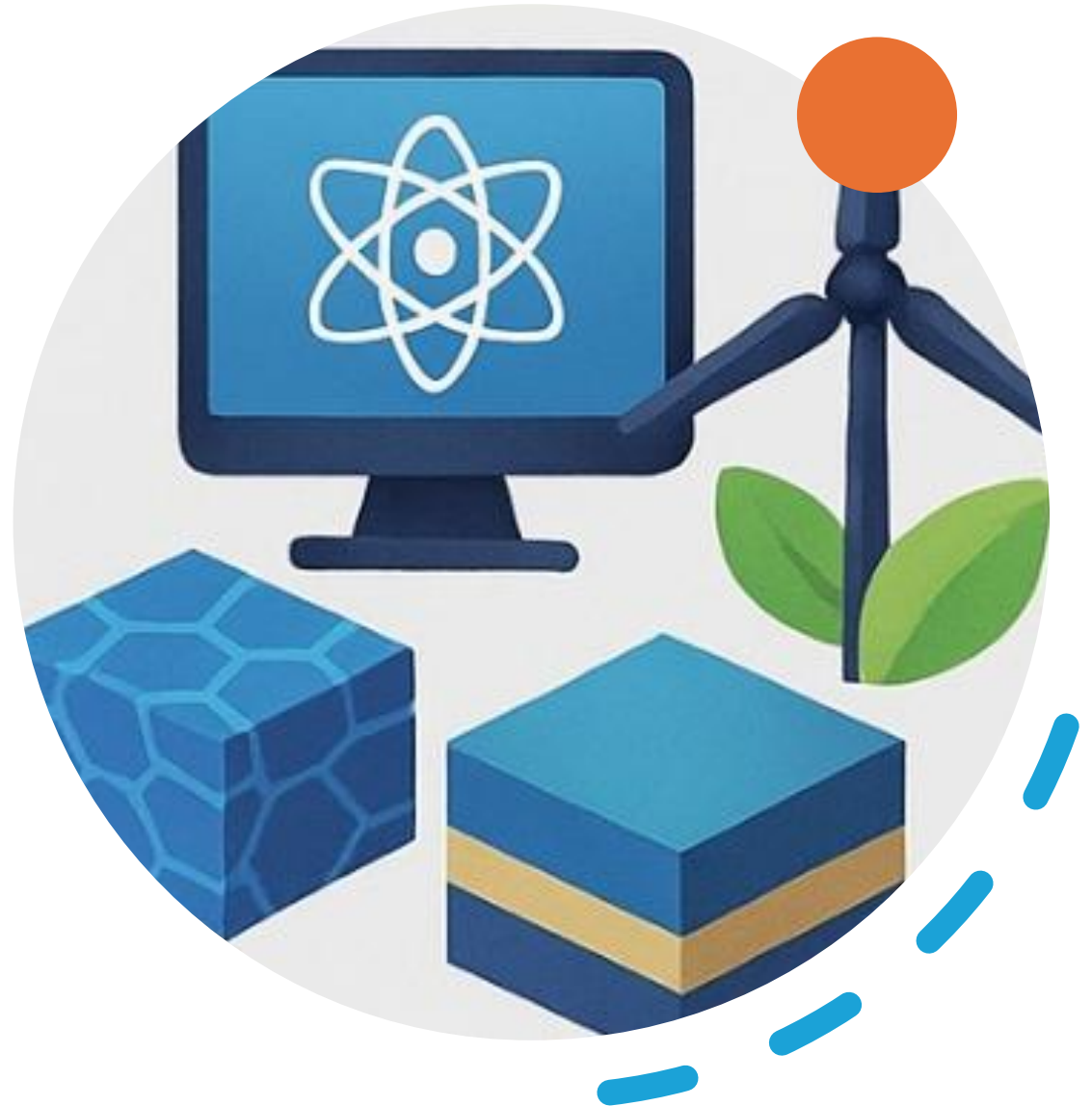
- Развитие материаловедения невозможно без точных методов исследования структуры, свойств и процессов, происходящих в материалах на атомном и наномасштабе. Современные методы анализа обеспечивают получение комплексных данных о морфологии, фазовом составе, дефектах и механизме взаимодействия частиц.
- К основным экспериментальным методам относятся:
- **Электронная микроскопия (SEM, TEM)** — визуализация наноструктур и определение их морфологии с атомным разрешением;
- **Рентгеноструктурный анализ (XRD)** — идентификация кристаллических фаз и определение параметров решётки;
- **Атомно-силовая микроскопия (AFM)** — измерение топографии поверхности и межатомных взаимодействий;
- **Спектроскопические методы (Raman, FTIR, UV-Vis)** — исследование химического состава, оптических и колебательных характеристик материалов;
- **Наноиндентирование** — определение микротвёрдости и модуля Юнга наноструктурированных материалов.
- Помимо экспериментальных методов, большое значение имеют **компьютерное моделирование и численные методы**, позволяющие прогнозировать свойства веществ до их синтеза. Используются подходы:
- **Молекулярная динамика (MD)** — моделирование движения атомов и молекул;
- **Методы квантовой механики (DFT)** — расчёт электронной структуры и энергий связи;
- **Моделирование методом конечных элементов (FEM)** — анализ механических напряжений и деформаций в конструкциях.
- Интеграция экспериментальных и вычислительных методов формирует современную концепцию **материаловедения данных (Materials Informatics)**, в которой используется искусственный интеллект и машинное обучение для ускоренного проектирования новых материалов.

Перспективы и тенденции развития материаловедения

- Современное материаловедение находится на этапе перехода от эмпирического поиска к **интеллектуальному проектированию материалов**, основанному на фундаментальных законах физики, химии и информатики. Развитие этой науки напрямую связано с цифровизацией, нанотехнологиями и устойчивыми принципами производства.
- Ключевые тенденции развития включают:
- **Наноинженерия и квантовые материалы** — создание структур с контролируемыми свойствами на уровне атомов и квантовых состояний, обеспечивающих сверхпроводимость, спинтронику и фотонные эффекты.
- **Материаловедение данных (Data-Driven Materials Science)** — использование искусственного интеллекта и машинного обучения для предсказания свойств и ускорения цикла «проектирование–синтез–тестирование».
- **Экологически устойчивые технологии** — разработка биоразлагаемых, безотходных и энергоэффективных материалов, направленных на снижение воздействия промышленности на окружающую среду.
- **Аддитивные технологии (3D-печать)** — производство деталей сложной формы из металлов, керамики и композитов с минимальными отходами.
- **Интеллектуальные и биоинспирированные материалы** — создание адаптивных систем, имитирующих функции живых организмов, для применения в медицине и робототехнике.
- В будущем развитие материаловедения будет определяться интеграцией **экспериментальных, вычислительных и информационных подходов**, что позволит создавать «материалы по запросу» — с заранее прогнозируемыми свойствами и минимальными затратами ресурсов.
- Эти тенденции формируют основу **Четвёртой промышленной революции (Industry 4.0)**, где материалы становятся ключевым элементом цифрового и устойчивого технологического прогресса.

Заключение

- Современная наука о материалах представляет собой динамично развивающуюся междисциплинарную область, объединяющую достижения физики, химии, механики, биотехнологии и информатики.
Её основная цель — **создание и управление свойствами материалов на всех структурных уровнях — от атомного до макроскопического.**
- Развитие нанотехнологий, компьютерного моделирования и зелёных технологий способствует появлению **нового поколения функциональных, интеллектуальных и устойчивых материалов**, которые определяют технологический прогресс XXI века.
- Будущее материаловедения связано с цифровизацией, интеграцией искусственного интеллекта и концепцией **«умных» производств (Smart Manufacturing)**, где материалы проектируются целенаправленно под конкретные задачи.
- Таким образом, современные направления науки о материалах и процессах обеспечивают фундаментальную основу для перехода к **устойчивому и высокоэффективному промышленному развитию**, ориентированному на экологию, инновации и качество жизни.



Список литературы

1. Кузнецов В. Н., Смирнов Ю. И. *Наноматериалы и нанотехнологии: Учебное пособие*. — М.: МИСиС, 2020. — 328 с.
2. Жуматаев А. Б., Касымов Р. Н. *Материаловедение и новые технологии*. — Алматы: Казахский университет, 2021. — 312 с.
3. Кудинов В. А., Гусев А. И. *Современные конструкционные материалы*. — М.: Техносфера, 2019. — 410 с.
4. Сурьянараяна Ч., Нортон М. Г. *Nanomaterials: Synthesis, Properties and Applications*. — Cambridge University Press, 2017. — 500 p.
5. Ashby M. F., Jones D. R. H. *Engineering Materials 2*. — Elsevier, 2019. — 450 p.
6. Bhushan B. *Springer Handbook of Nanotechnology*. — Springer-Verlag, 2021. — 1398 p.
7. *Materials Today: Advanced Functional Materials and Processes*. — Elsevier, 2022.
8. *Green and Sustainable Materials Research Reports*. — Journal of Cleaner Production, 2023.