

Квантовая физика и атомная физика: основы микромира

Квантовая энергия и вероятности измерений; атомы, спектры и излучение объясняют устройство вещества.

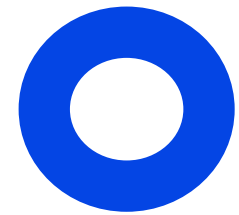


Почему классическая физика перестала хватать в начале XX века



Классика объясняла движение и электромагнетизм, но «сломалась» на спектрах чёрного тела, фотоэффекте и устойчивости атомов. Планк ввёл кванты, Эйнштейн связал их со светом, а Резерфорд обнаружил ядро.

Основные идеи квантовой теории



Энергия излучения связана с частотой соотношением $E = h\nu$, где h — постоянная Планка. Это подчёркивает: обмен энергией происходит не непрерывно, а порциями — квантами.



Для микромира естественно вероятностное предсказание результатов. Принцип неопределённости Гейзенберга ограничивает точность одновременного задания координаты и импульса, делая описание принципиально иным, чем в классике.



Фотон — носитель энергии — одновременно описывается как частица с энергией и импульсом и как волна. Поэтому свет способен давать и «волновые», и «корпускулярные» эффекты в разных опытах.

Фотоэффект: линейная зависимость энергии электронов от частоты

Если $\nu < \nu_0$, то даже при большой интенсивности выбивание электронов не начинается. При $\nu > \nu_0$ максимальная кинетическая энергия растёт линейно с ν .

Линия на графике отражает формулу $E_{k,\max} = h\nu - A_{\text{вых}}$ и подчёркивает ключевую роль энергии одного фотона, а не «общей яркости» света.

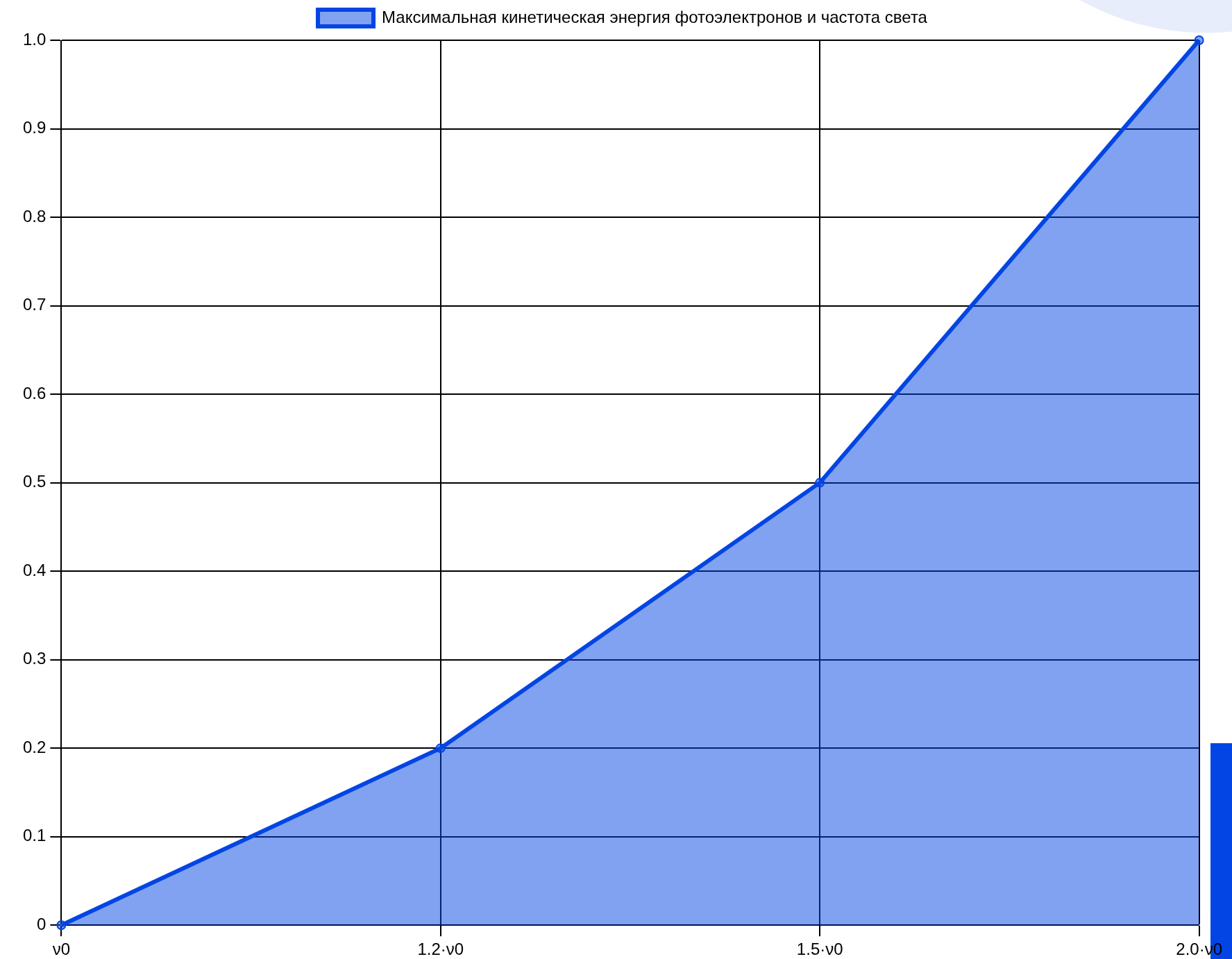


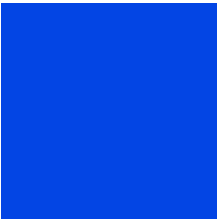
Иллюстрация по теоретической связи $E_{k,\max} = h\nu - A_{\text{вых}}$ и порогу ν_0 (А. Эйнштейн, 1905).

Опыт Резерфорда и ядерная модель атома

Рассеяние α -частиц на золотой фольге показало: большинство частиц почти не отклоняется, но небольшая доля отклоняется на большие углы. Это указывает на сильные электрические поля в малом объёме.

Следовательно, атом в основном состоит из пустого пространства, а положительный заряд и почти вся масса сосредоточены в компактном ядре. Схема траекторий α -частиц помогает связать наблюдения с новой моделью атома.





Модель Бора и линейчатый спектр водорода

01

Нильс Бор предположил, что электрон может находиться только на стационарных орбитах и не излучает при «обычном» движении. Излучение возникает при переходе между уровнями энергии.

02

При переходе электрон испускает или поглощает фотон строго определённой энергии: она равна разности энергий уровней. Поэтому спектр не сплошной, а состоит из отдельных линий.

03

Для водорода наблюдается линейчатый спектр, подтверждающий дискретность энергетических состояний. Формула Ридберга описывает длины волн его линий, связывая спектр с числом уровней.



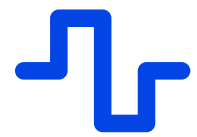
Частицы атома: электрон, протон, нейтрон

Три базовые частицы различаются зарядом, массой и ролью в составе атомного ядра и электронной оболочки.

Число протонов задаёт элемент, а различие числа нейтронов создаёт изотопы. Электроны определяют химические свойства и спектры за счёт квантовых переходов.

Частица	Заряд	Относительная масса	Место и роль
Электрон	-1	очень мала	вокруг ядра, участвует в связях и спектрах
Протон	+1	≈ 1	в ядре, определяет химический элемент
Нейтрон	0	≈ 1	в ядре, задаёт изотопы и массу

Квантово-механическая модель атома: как «живёт» электрон



Волновое описание

Электрон в современной модели не считают точкой, движущейся по орбите. Его состояние задаёт волновая функция, а результаты измерений выражаются вероятностями обнаружения в разных областях пространства.



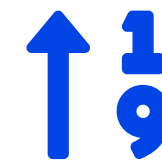
Орбитали как области вероятности

Наибольшая вероятность нахождения соответствует орбиталям. Они имеют конкретные формы и связаны с тем, какие квантовые состояния электрон может реализовать в атоме без излучения при стационарности.



Типы орбиталей s, p, d, f

Орбитали отличаются формой и энергией: разные типы отражают различия в пространственном распределении электронного облака. Это делает «строение» атома расчётным и проверяемым по спектрам.

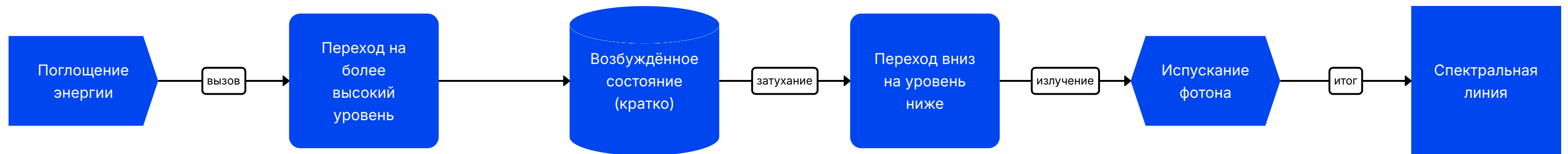


Четыре квантовых числа

Состояние электрона характеризуют главным, орбитальным, магнитным и спиновым квантовыми числами. Вместе они определяют возможные орбитали, ориентации и спиновое состояние, необходимые для спектральных правил.

Как появляется спектральная линия атома

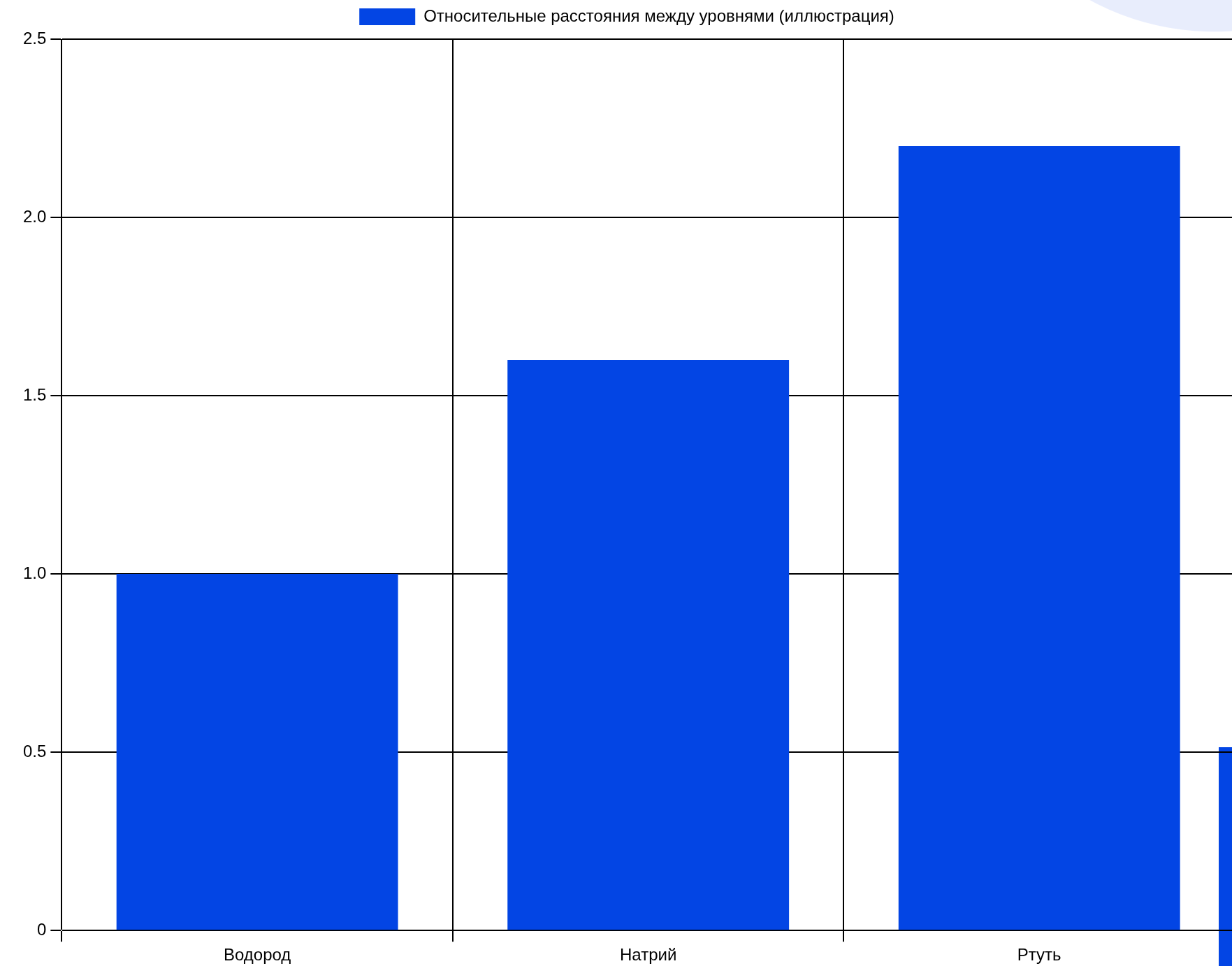
Логика процесса: возбуждение → переход уровней → излучение строго определённой энергии.



Энергетические уровни разных атомов и «вид» спектра

У более сложных атомов уровней и возможных переходов больше. Поэтому спектр становится богаче линиями и структура усложняется по сравнению с водородом.

Различие в расстояниях между уровнями определяет, какие переходы приходятся на видимый, ультрафиолетовый или инфракрасный диапазон. Значит, спектр отражает внутреннее строение атома.



Иллюстративное сравнение по качественной зависимости спектра от энергетических уровней; конкретные уровни берут из экспериментальных атомных спектров.

Спин электрона и принцип Паули

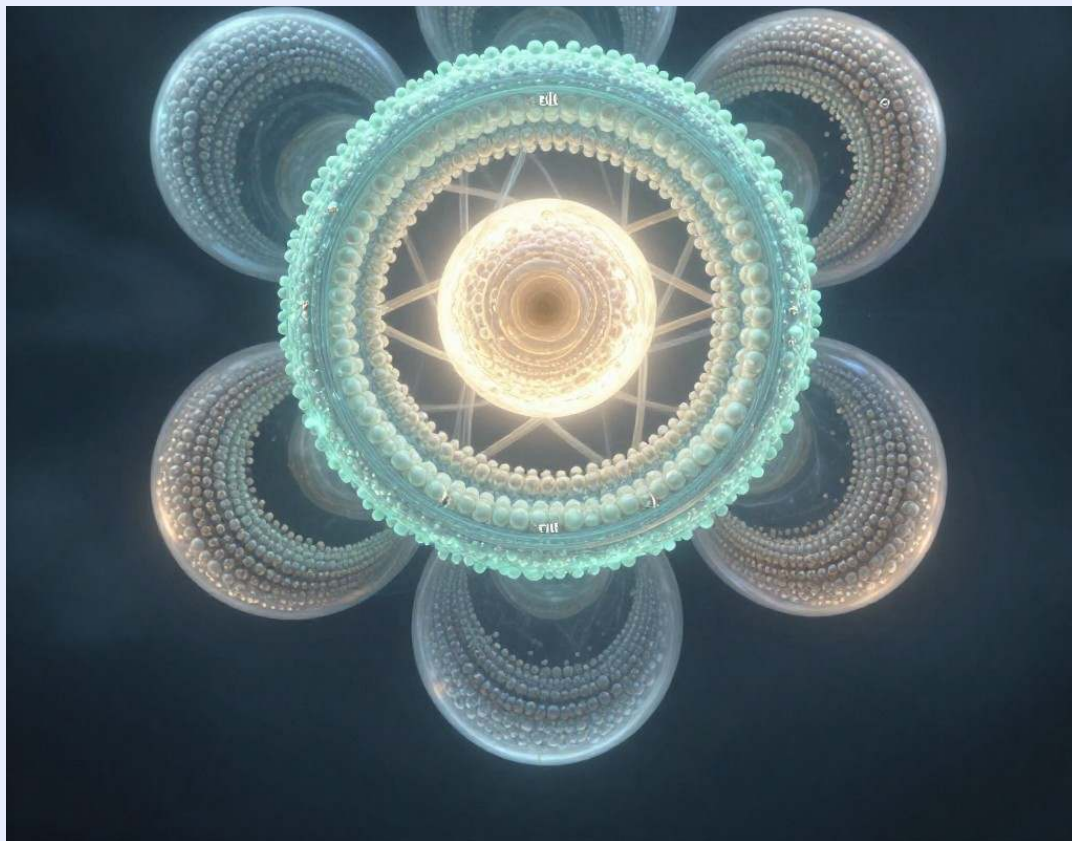
1. Спин электрона равен $1/2$ и проявляется как собственный магнитный момент частицы. Благодаря этому электроны в атоме по-разному взаимодействуют с магнитным полем и внешними воздействиями.

2. Принцип запрета Паули утверждает: в одном атоме нельзя найти два электрона с одинаковым набором всех квантовых чисел. Следовательно, на каждом энергетическом подуровне электроны занимают разные состояния.

3. Именно ограничения Паули определяют «порядок расселения» электронов по оболочкам и подуровням. Нельзя бесконечно заполнять один и тот же квантовый уровень — появляются новые конфигурации.

4. Эти квантовые правила обеспечивают устойчивое расположение электронов в атомах. Отсюда вытекает периодичность химических свойств: внешние электроны повторяют похожие схемы заполнения.

Периодическая система: как строение атома находит своё место



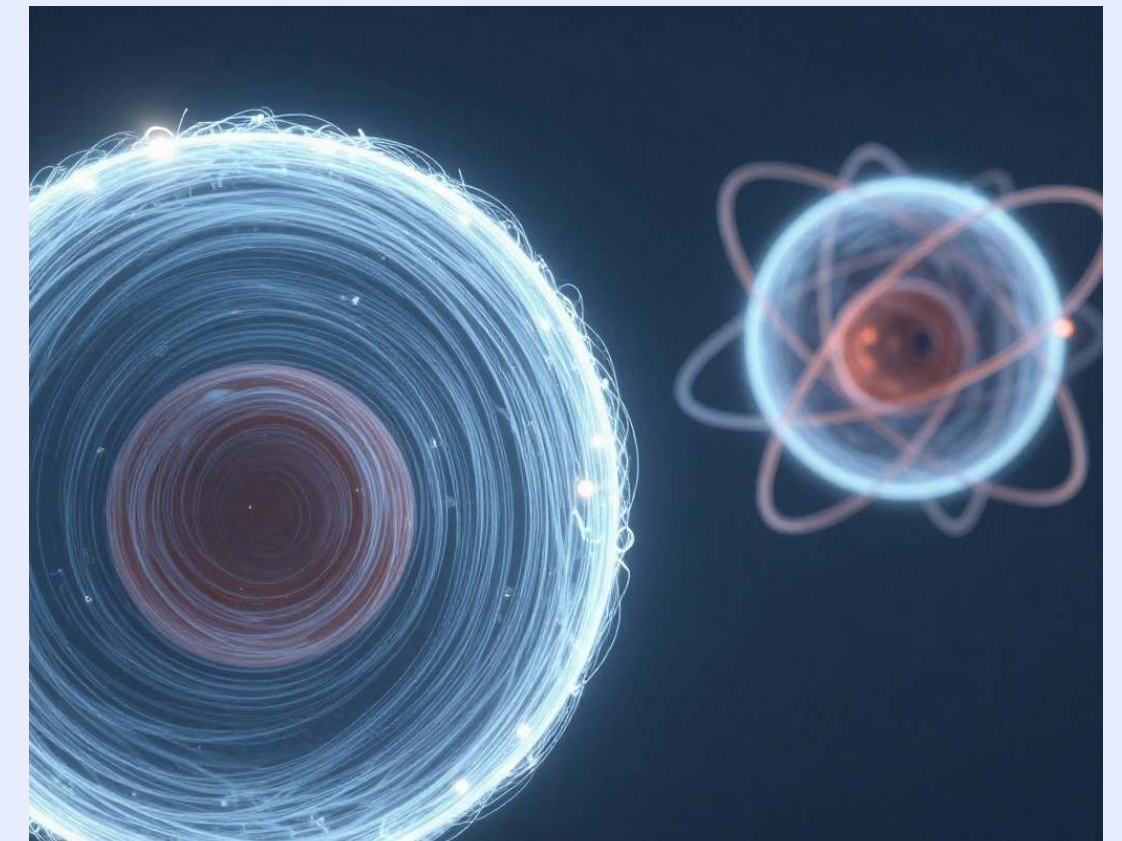
Почему элементы «повторяются»

Периодическая система связывает свойства с электронными оболочками. По мере роста порядкового номера меняется, как именно заполняется внешний слой. Когда внешний набор электронов повторяется, химические характеристики элементов становятся похожими.



s-, p-, d- и f-блоки как разные «зоны влияния»

Блок элемента определяется тем, где в основном находятся «добавляемые» электроны. s-блок формирует базовые закономерности для первых рядов, p-блок расширяет их, d- и f-блоки создают особенно разнообразные и «богатые» переходными состояниями эффекты. На схеме это удобно видеть по выделениям.



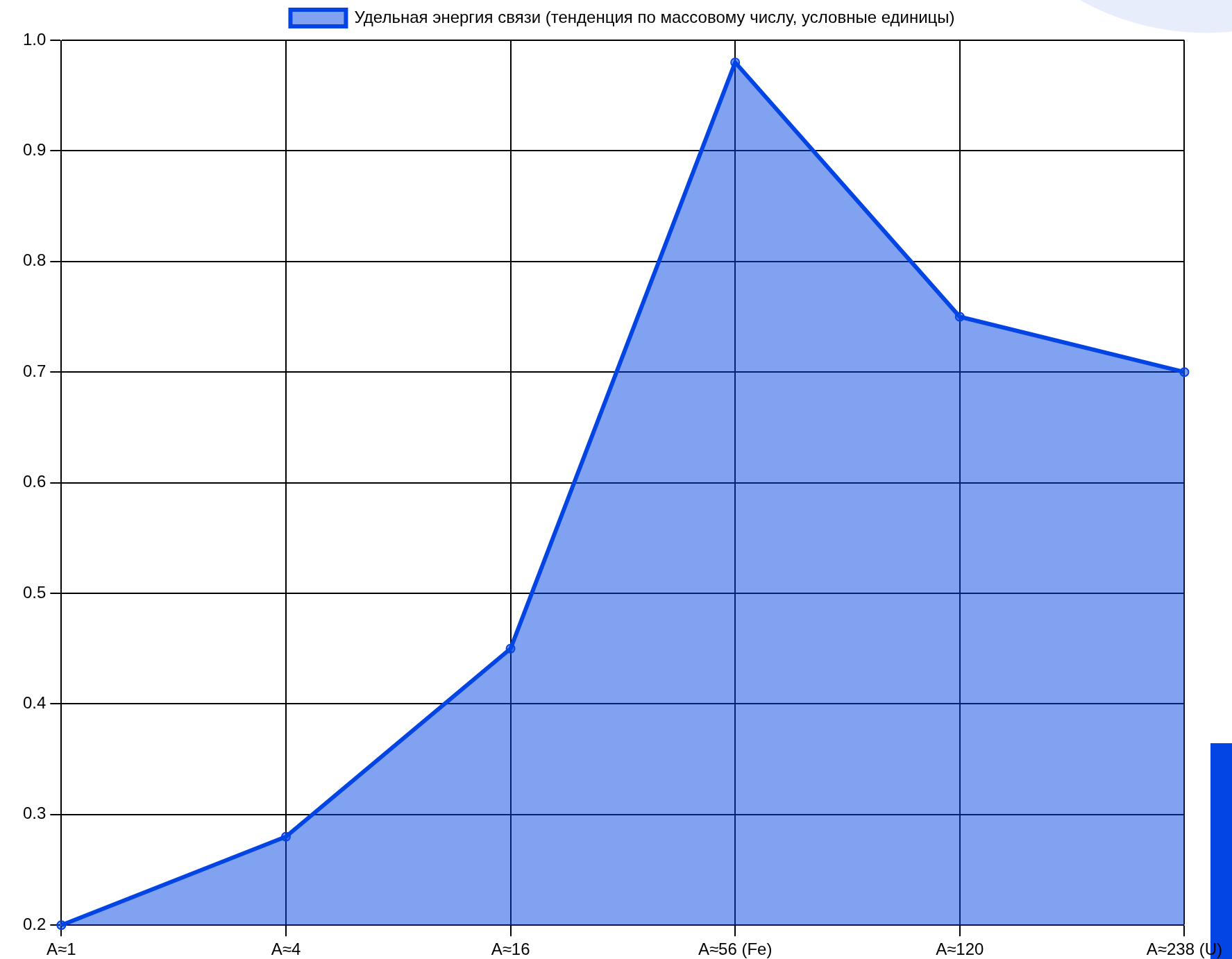
Валентные электроны управляют активностью и связями

Химическое поведение задают валентные электроны — те, что участвуют в образовании связей. Их число и доступность подуровней определяют, насколько легко атом отдаёт или принимает электроны. Поэтому положение элемента в таблице напрямую связано с типичными реакциями.

Энергия связи ядра и устойчивость нуклонов

В области максимума кривая отражает, что средняя энергия связи на нуклон наибольшая, поэтому ядра средней массы особенно устойчивы.

Форма зависимости объясняет два пути высвобождения энергии: при делении тяжёлых ядер и при синтезе лёгких. Отклонение от максимума ведёт к росту удельной связи в продуктах.



Обобщённая зависимость из учебных обзоров по ядерной физике (значения приведены в условных единицах для наглядного сравнения тенденции); данные не претендуют на точные таблицы.

Радиоактивность и виды распада

Альфа-распад

Ядро испускает альфа-частицу — ядро гелия. Заряд ядра уменьшается на 2, а массовое число тоже сокращается, поэтому образуется элемент, сдвинутый на две клетки в таблице Менделеева.

Гамма-излучение

Гамма-квант не меняет ни заряд, ни массовое число ядра. Он уносит избыток энергии, переводя ядро из возбуждённого состояния в менее возбуждённое или в основное.

Бета-распад

При бета-распаде происходит превращение нейтрона в протон (или протона в нейтрон). В результате изменяется состав ядра: меняется заряд, а характер изотопа становится иным.

Период полураспада и датирование

У разных изотопов период полураспада может составлять от долей секунды до миллиардов лет. Это позволяет использовать радиоактивные методы датирования, сравнивая долю исходного изотопа и продуктов распада.

Деление и синтез ядер: сравнение процессов

Параметр	Деление	Синтез
Условия протекания	Требуются высокие массы ядер; возможна цепная реакция	Нужны очень высокие температура и давление для сближения лёгких ядер
Исходные вещества	Тяжёлые ядра, например уран-235	Лёгкие ядра, например изотопы водорода
Выделение энергии	Энергия высвобождается за счёт дефекта массы продуктов	Энергия высвобождается за счёт дефекта массы продуктов
Практическое применение	Энергетика и получение нейтронов для исследований	Как источник энергии в перспективных термоядерных установках и экспериментах

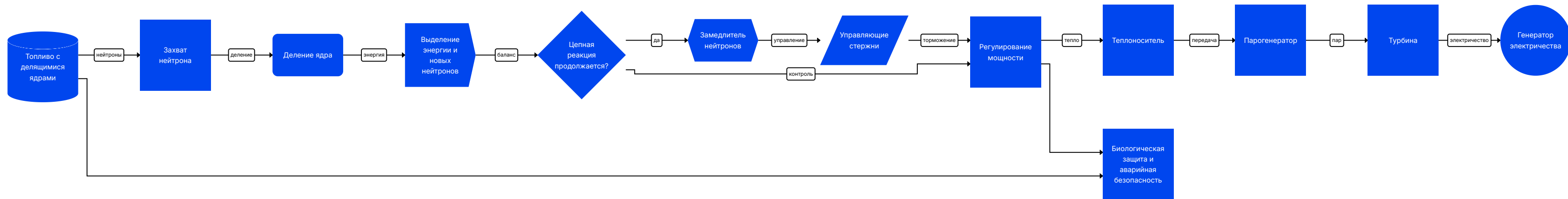
Сравнение по условиям, исходным ядрам, источнику энергии и типичным практическим применениями.

В обоих случаях выигрывает ядерная устойчивость: конечные продукты оказываются более связанными, чем исходные ядра, поэтому высвобождается энергия.

Сводные учебные материалы по ядерной физике
(качественное сравнение без привязки к конкретным экспериментальным параметрам).

Схема работы ядерного реактора

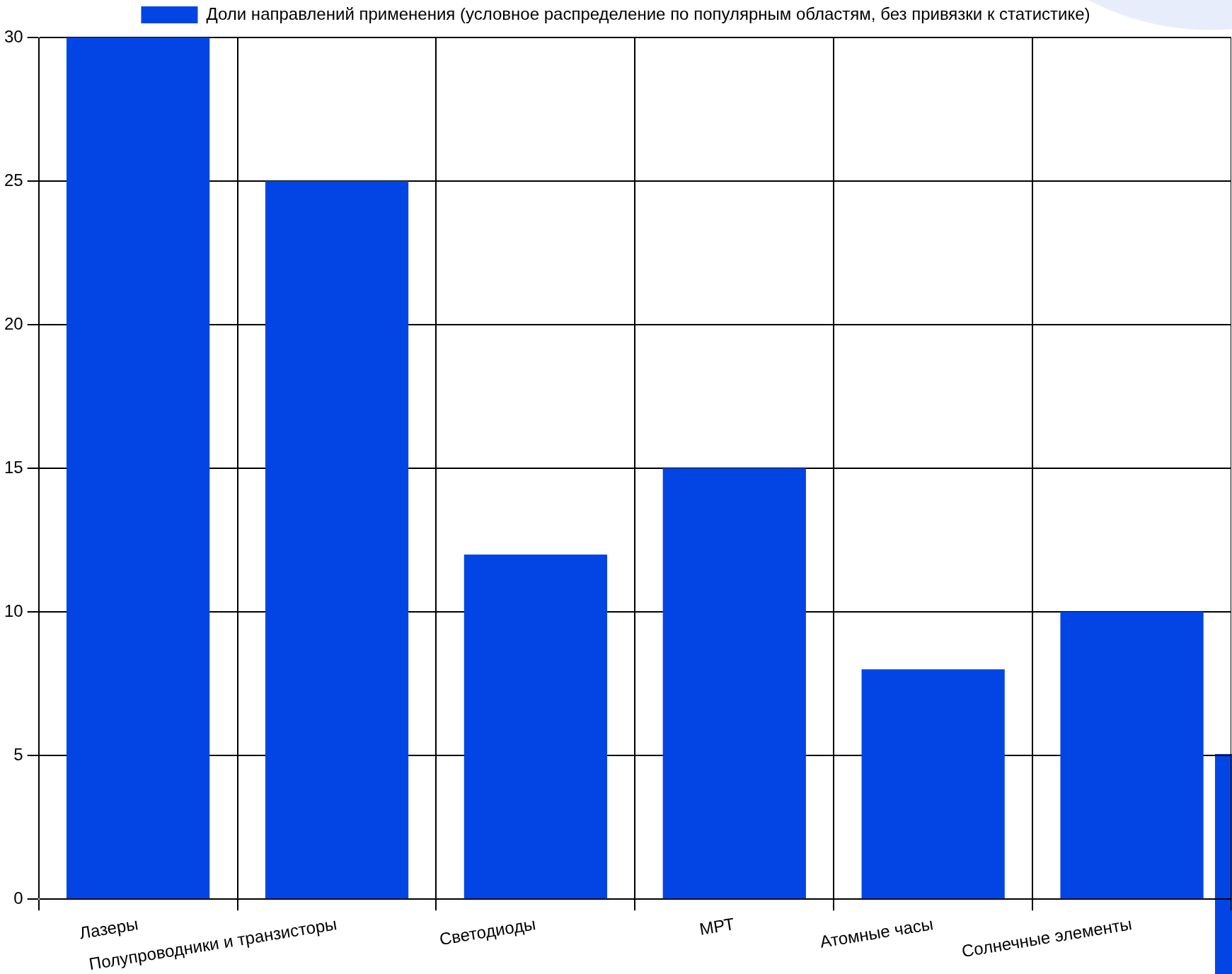
Логическая последовательность процессов от топлива до производства электроэнергии.



Применения квантовой и атомной физики

Практическая роль квантовых эффектов особенно заметна в устройствах, где требуется точный контроль энергии и состояний носителей заряда или фотонов.

Сопоставление областей показывает общую основу: в каждом случае ключевой механизм напрямую связан с квантовыми уровнями, вынужденным излучением или зонной структурой.



Учебно-справочная классификация применений квантовых эффектов; численные значения долей даны в условных единицах для визуального сопоставления.



Современные эксперименты в микромире

Интерференция электронов подтверждает волновые свойства материи: даже частицы, которые регистрируются как точки, демонстрируют картины, характерные для волн. Это напрямую связывает микромир с квантовыми моделями.

Охлаждение атомов до сверхнизких температур позволяет наблюдать коллективные квантовые состояния и эффекты, которые в обычных условиях «смазываются» тепловым движением. Экспериментальные схемы становятся особенно чувствительными к параметрам системы.

Квантовые точки и сверхпроводящие структуры показывают, что поведение частиц определяется вероятностями квантовых состояний и их ограничениями. Современные детекторы способны регистрировать отдельные события, поэтому измерение определяет результат.

Квантовые технологии и научные перспективы



Квантовые компьютеры

Используются суперпозиция и запутанность для решения отдельных задач быстрее классических подходов. Главное преимущество проявляется в задачах, где структура квантовых состояний даёт вычислительный выигрыш.



Квантовая криптография

Безопасность передачи повышается за счёт законов квантовой механики. При попытке перехвата информации состояние системы меняется, что позволяет обнаруживать вмешательство и снижать риск скрытого взлома.



Астрофизика и спектроскопия

По спектральным линиям определяют состав звёзд и туманностей. Квантовая природа уровней атомов превращает наблюдаемое излучение в источник информации о веществах на больших расстояниях.



Материалы, электроника, диагностика

Квантовая и атомная физика задают принципы работы современных материалов и устройств. Это важно и для электроники, и для методов диагностики, где нужно понимать поведение носителей и излучения.



Поведение микрочастиц стало основой нового взгляда на атом

Квантовая физика показала дискретность энергии и вероятностный характер процессов, а атомная физика раскрыла строение, спектры, радиоактивность и устойчивость ядер. Эти идеи объединили физику с технологиями.

