

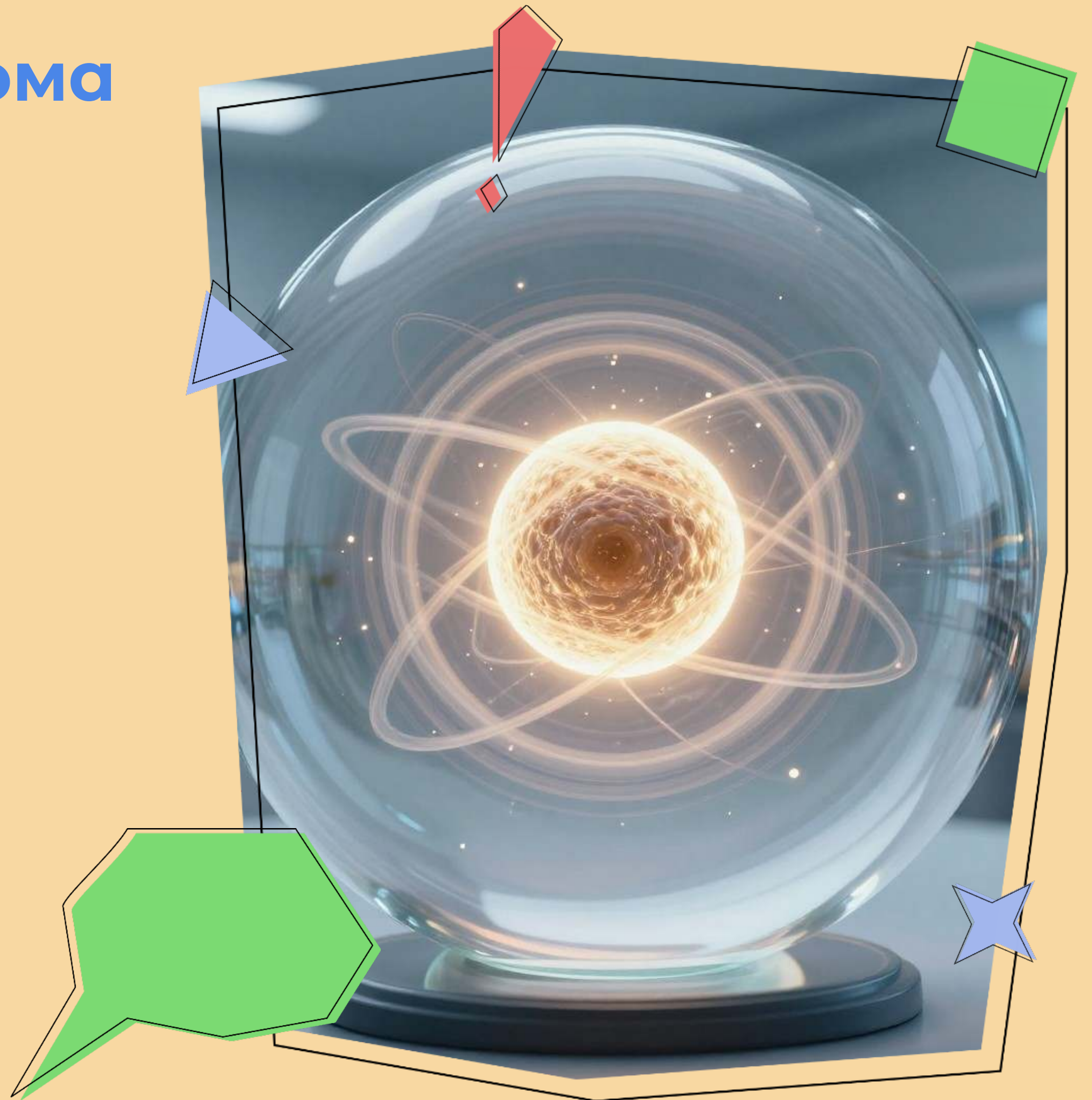
Строение атома и квантовая физика

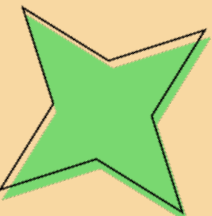
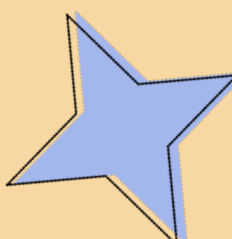
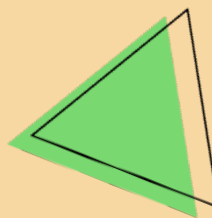
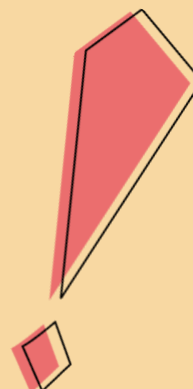
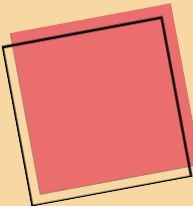
От неделимого атома к ядру, квантам и
вероятностной картине микромира.



Почему строение атома стало ключевой проблемой физики

К началу XX века линейчатые спектры, устойчивость атомов, фотоэффект и излучение «чёрного тела» не объяснялись классикой. Эти факты подсказали: энергия передаётся порциями, а не непрерывно.





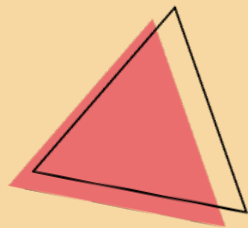
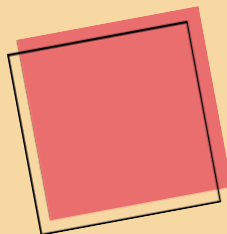
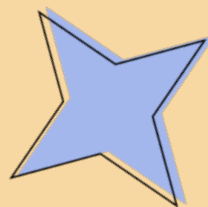
10^{-10} м

**Такой порядок величины
задаёт размеры атома и
позволяет понять, почему
ядро кажется «почти точкой».**

Учебные материалы по атомной физике (оценки порядков величин,
общеизвестные в школьном курсе)

Размер атома составляет
примерно 10^{-10} м, тогда как ядро
имеет масштаб около 10^{-15} м.

Частицы, из которых построен атом

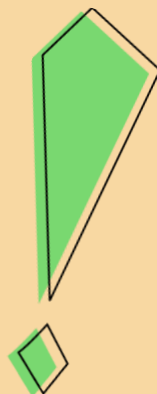
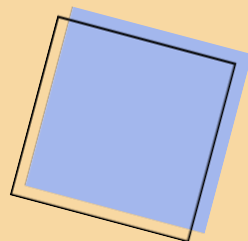
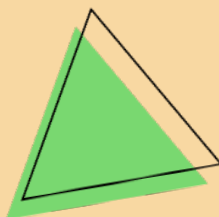


Частица	Заряд	Роль	Масса
Протон	+e	в ядре	основная масса ядра
Нейтрон	0	в ядре	сопоставима протону
Электрон	-e	в оболочке	примерно в 1836 раз меньше протона

Сравнение протона, нейтрона и электрона по заряду, массе и роли в атоме.

Химические свойства определяются электронами, а почти вся масса — ядром, поэтому «ядро важно» даже там, где химия кажется «про оболочку».

Классические сведения школьного курса химии и физики о строении атома

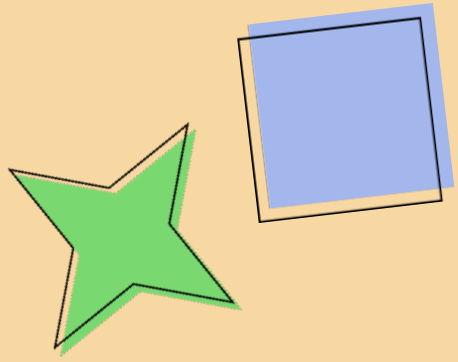


Опыты Резерфорда и открытие ядра

- ❑ В опыте по рассеянию α -частиц на тонкой золотой фольге большинство частиц проходило почти без отклонения, а небольшая доля заметно отклонялась или даже отражалась назад.
- ❑ Такой результат означал: внутри атома есть очень маленькая и плотная область с положительным зарядом. Модель Томсона, где заряд распределён равномерно, перестала согласовываться с данными.

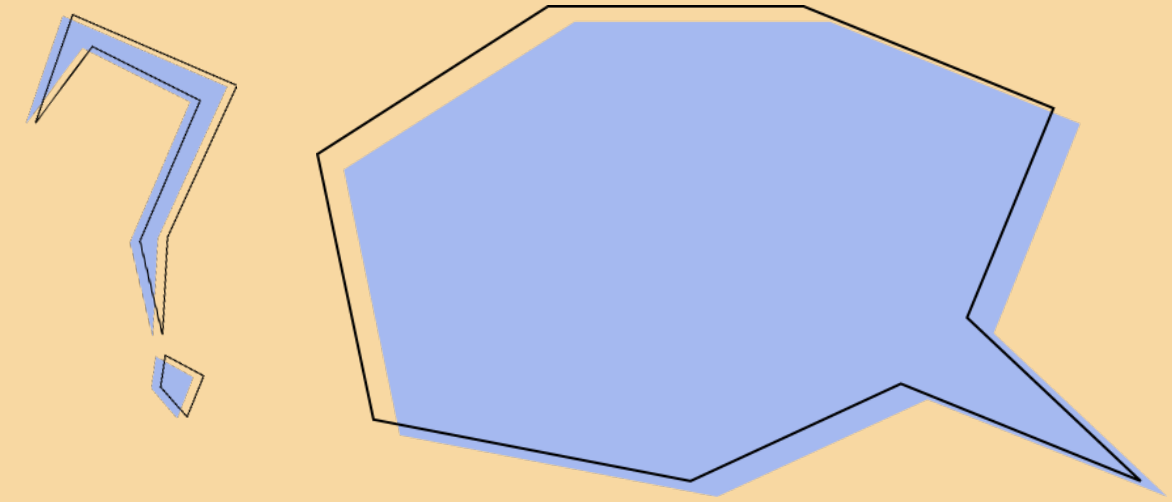


Постулаты модели Бора

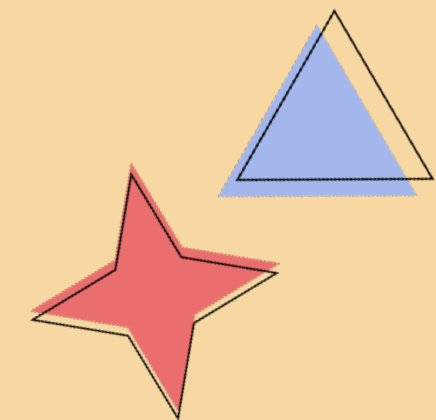
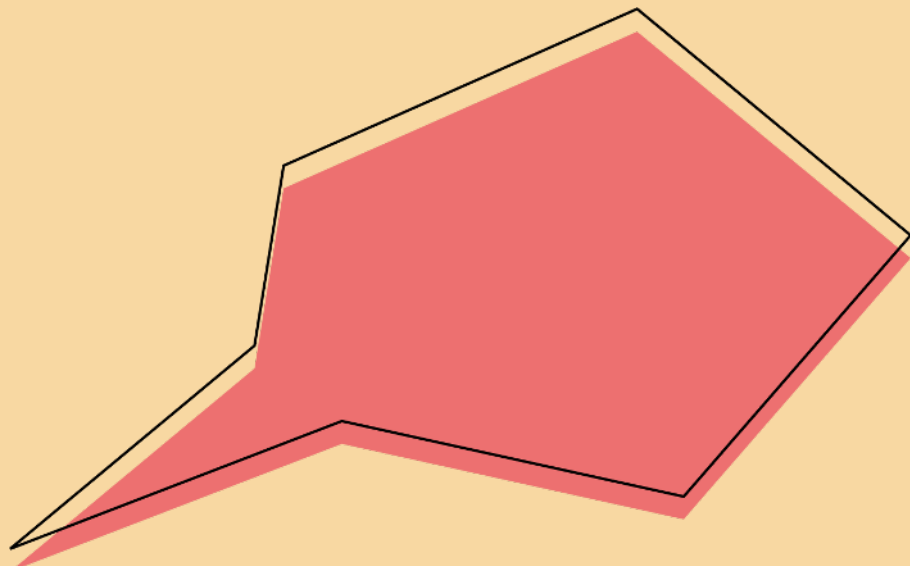


Электроны могут находиться только на определённых разрешённых орбитах (стационарных состояниях) и в этих состояниях не излучают энергию.

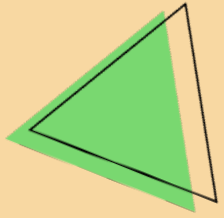
Переход между уровнями сопровождается поглощением или испусканием кванта света: атом меняет энергию ступенчато, а не плавно.



Энергия фотона связана с частотой излучения формулой $E = h\nu$, где h — постоянная Планка, а ν — частота.

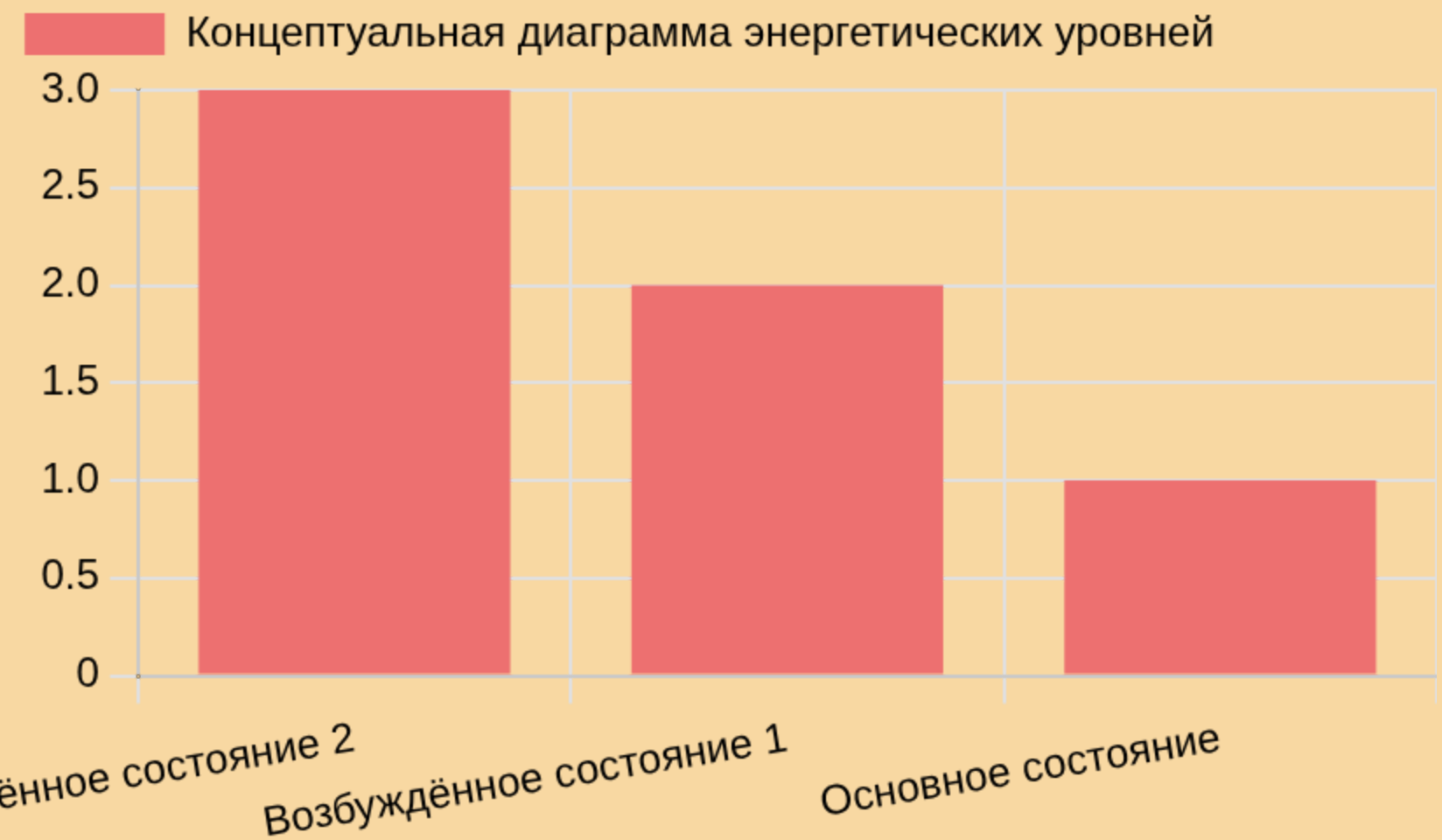


Дискретные уровни энергии атома

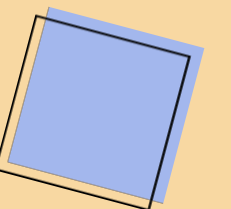
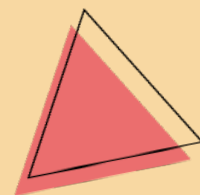
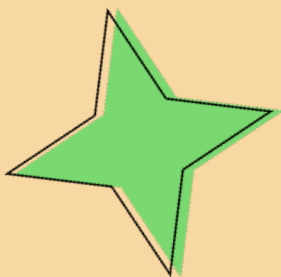


При переходе сверху вниз испускается фотон, а при переходе снизу вверх — поглощается фотон; энергия определяется разностью уровней.

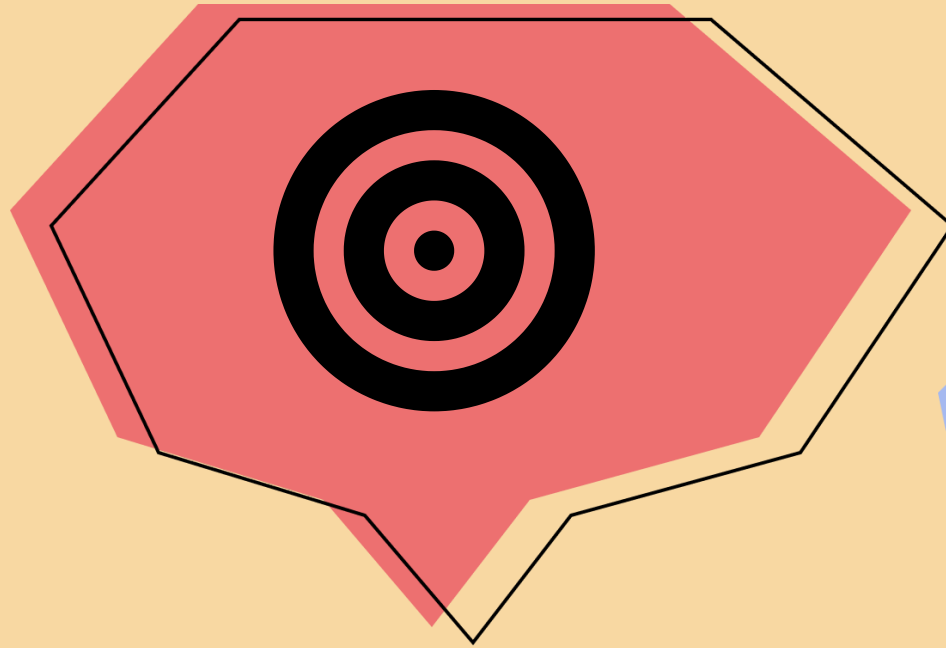
Дискретность уровней объясняет происхождение линейчатого спектра и устойчивость атома: электрон не «падает» непрерывно.



Схематическое представление стационарных уровней (учебная концептуальная иллюстрация), без привязки к конкретному элементу

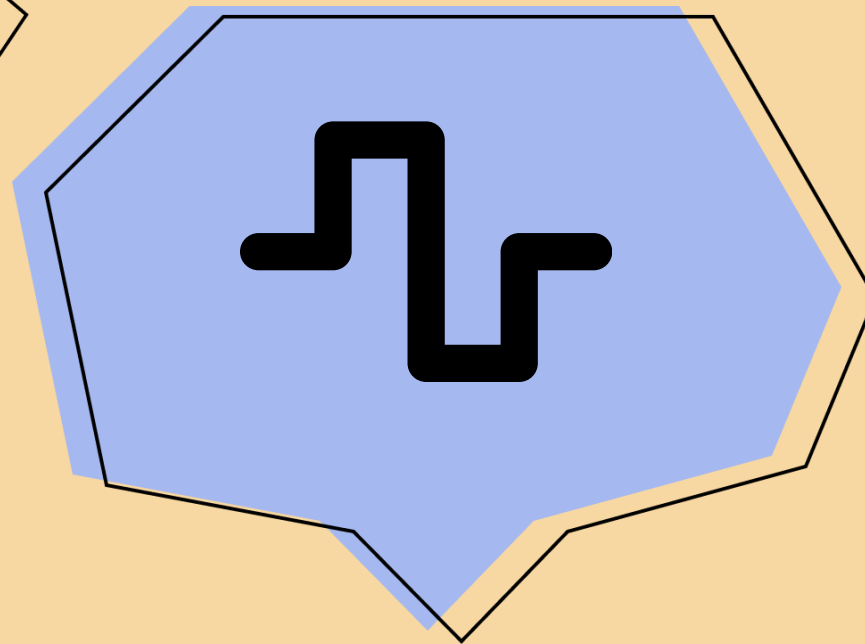
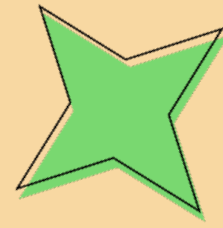


Линейчатые спектры как доказательство квантования



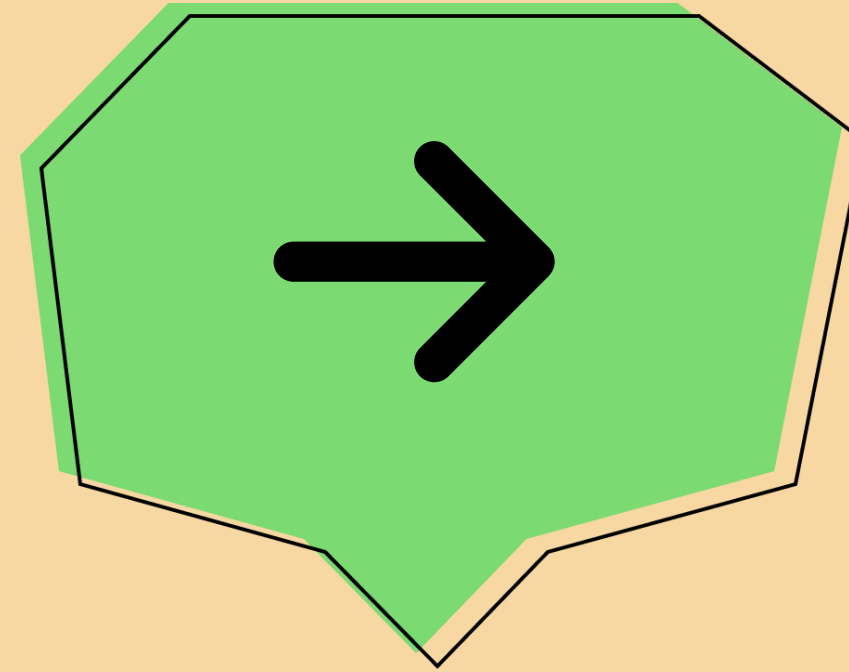
Сигнатура элемента

У каждого химического элемента набор спектральных линий индивидуален: линии повторяются при измерениях и служат «отпечатком» атомной структуры.



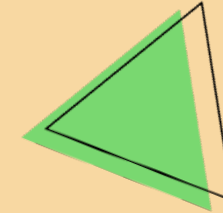
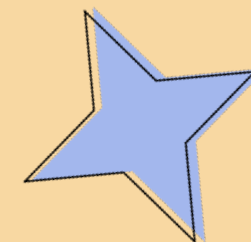
Не сплошной цвет

Вместо непрерывной радуги наблюдаются строго определённые длины волн, как будто атом излучает только при определённых энергетических скачках.



Переходы электронов

Спектр возникает из-за переходов между энергетическими уровнями: электрон меняет состояние, а разность энергий уходит в фотон.



Квантование энергии

Линейчатый вид спектра подтверждает, что энергия в микромире не произвольна: возможны лишь дискретные значения, согласующиеся с моделью квантовых уровней.

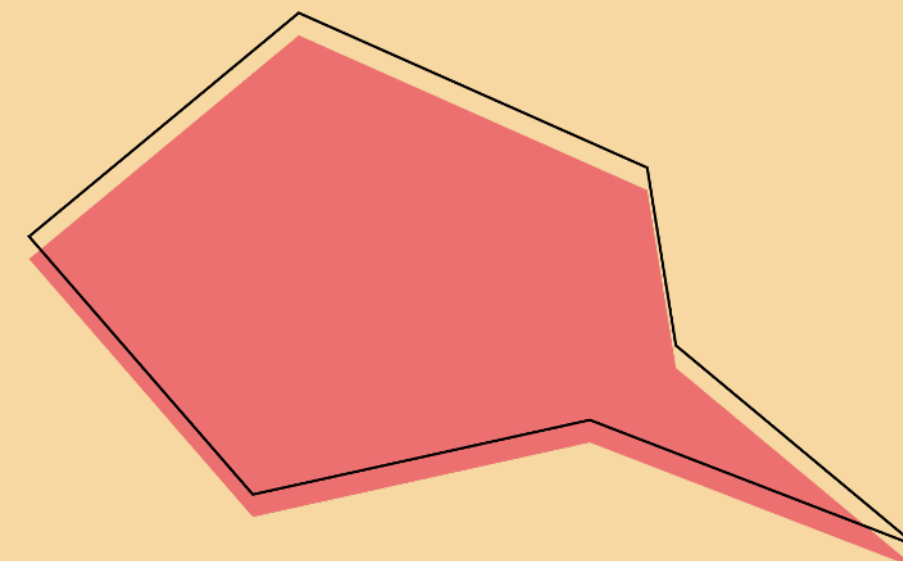
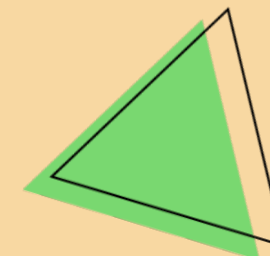
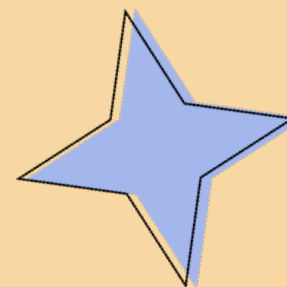
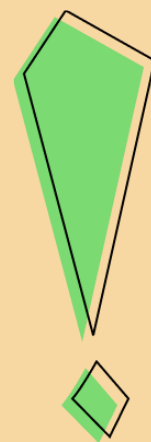
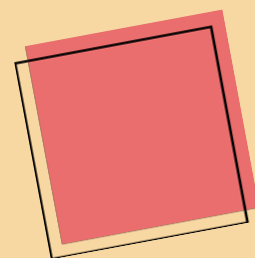
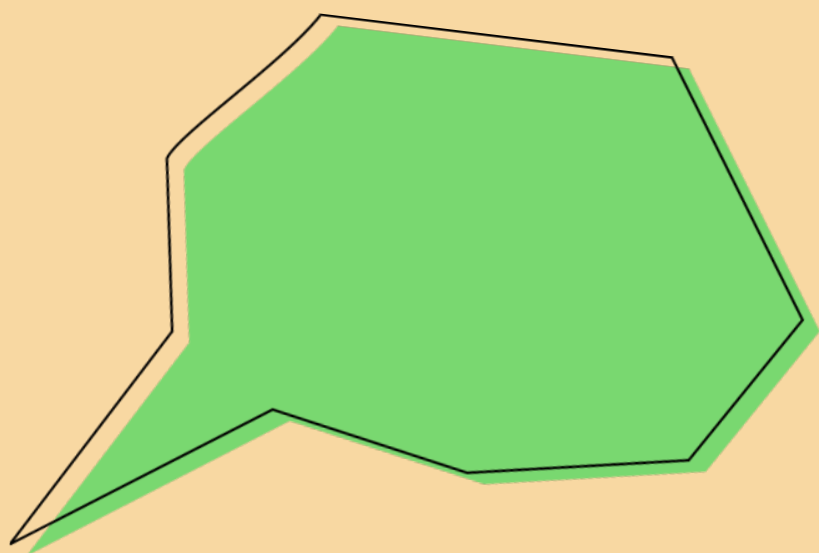
Фотоэффект и кванты света

Фотоэффект состоит в том, что свет выбивает электроны из вещества. В опытах выяснили: важна не только яркость, но и частота света.

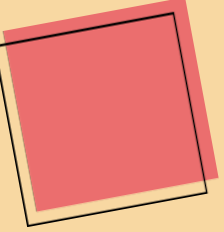
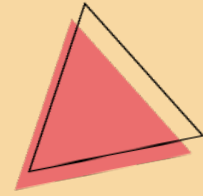
Если частота ниже пороговой, электроны могут не появиться даже при сильном освещении. Это противоречило представлению о «накоплении энергии» по классическим законам.

Альберт Эйнштейн объяснил эффект тем, что свет переносит энергию порциями — фотонами. Электрон получает энергию, достаточную для выхода, при взаимодействии с фотоном.

За это объяснение Эйнштейну присудили Нобелевскую премию по физике в 1921 году, а фотоэффект стал одним из ключевых аргументов в пользу квантовой теории.



Волновые свойства частиц



Гипотеза де Бройля (начало квантовой идеи)

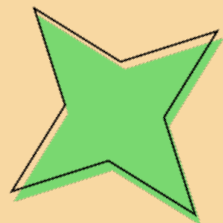
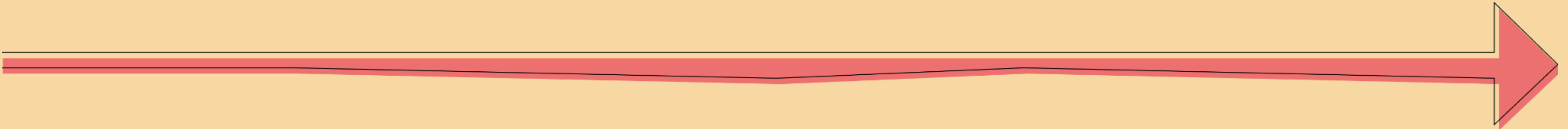
Луи де Бройль предположил: любой объект микромира может проявлять волновые свойства, а значит, к частицам применимы волновые представления.

Связь длины волны и импульса

Длина волны выражается через импульс: $\lambda = h/p$. Поэтому при изменении скорости частицы меняется и «волновой масштаб» её поведения.

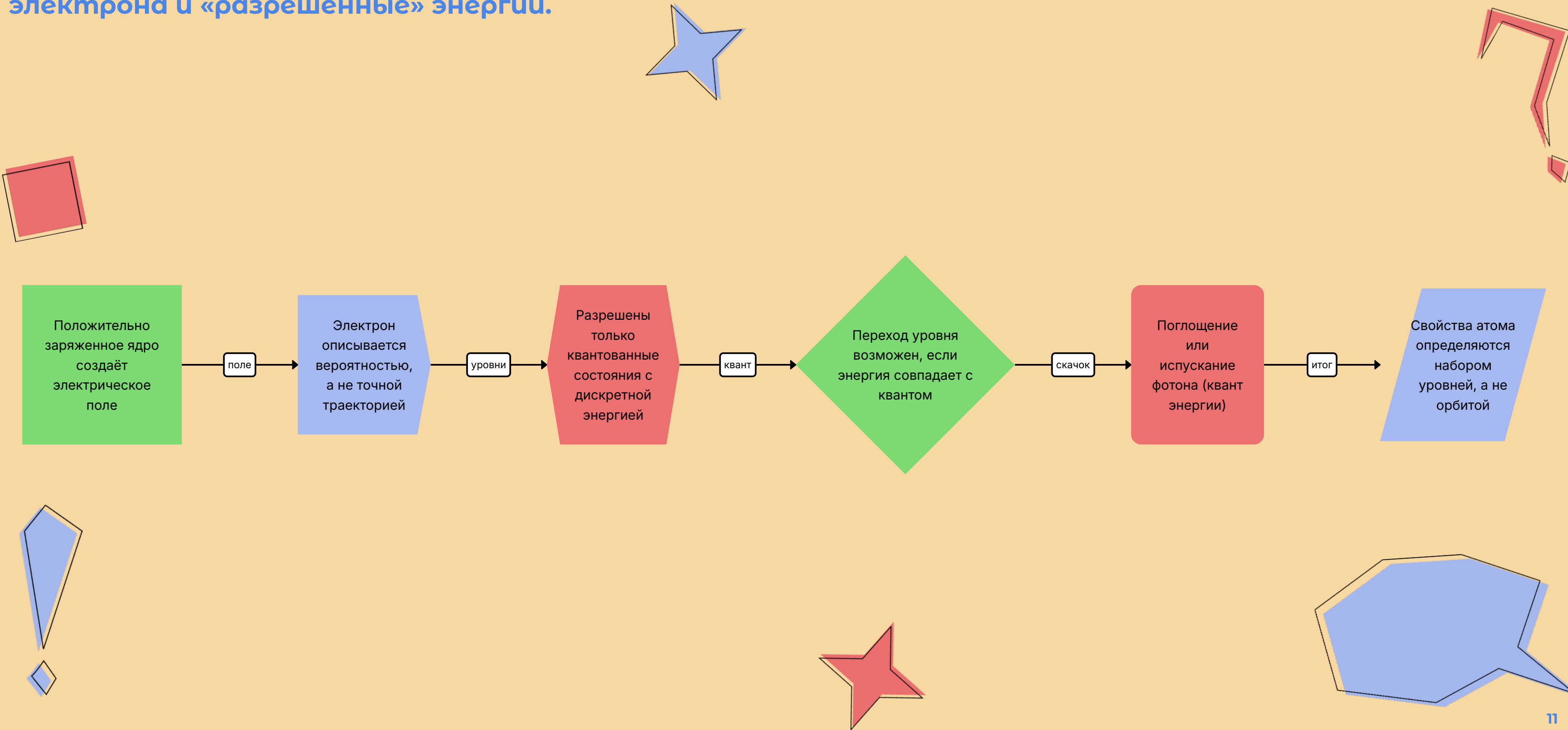
Интерференция и дифракция электронов

Электроны дают интерференцию и дифракцию, как волны. Это показывает, что в микромире нельзя отделять «частицы» от «волн» полностью.



Квантовая модель: от ядра к разрешённым состояниям

Логика квантового описания атома: электрическое поле ядра задаёт вероятностное поведение электрона и «разрешённые» энергии.

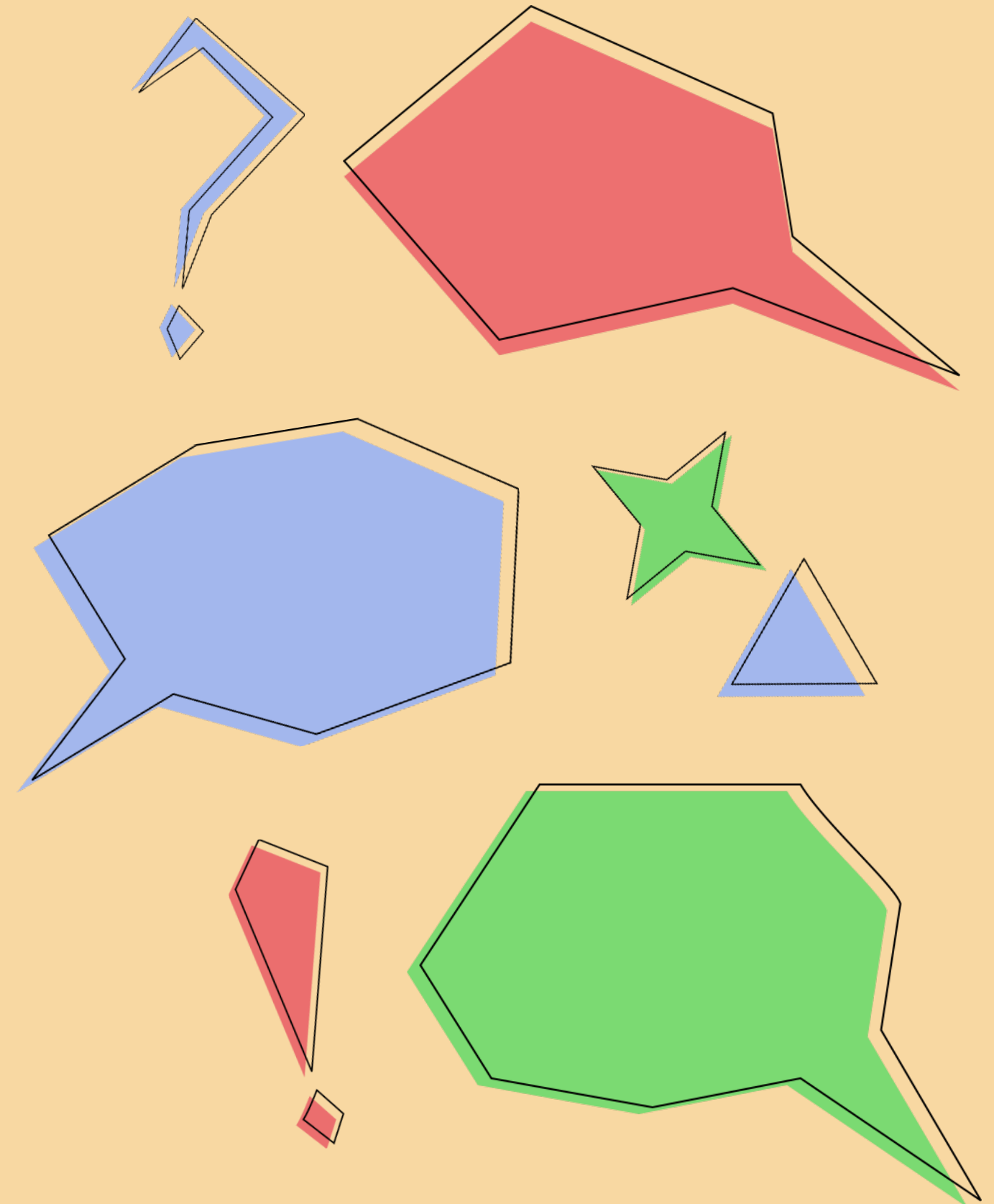
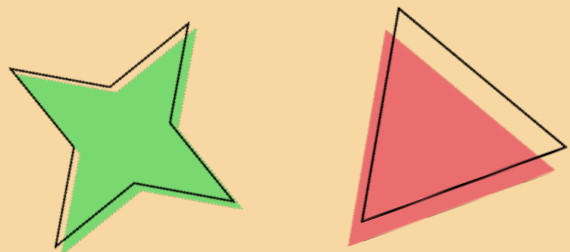


Принцип неопределённости и орбитали

Невозможно одновременно точно определить координату и импульс электрона: $\Delta x \cdot \Delta p \geq \hbar/2$. Это ограничение не «измерительной ошибки», а фундаментальное свойство квантовых объектов.

Поэтому квантовая физика говорит не о траектории, а об орбитали — области, где вероятность обнаружить электрон наиболее велика. Орбитали удобно использовать как «геометрический портрет» состояния.

Современная модель атома заменяет «планетарные орбиты» вероятностным описанием: электрон не задаёт фиксированную линию движения, но остаётся в пределах распределения вероятностей.



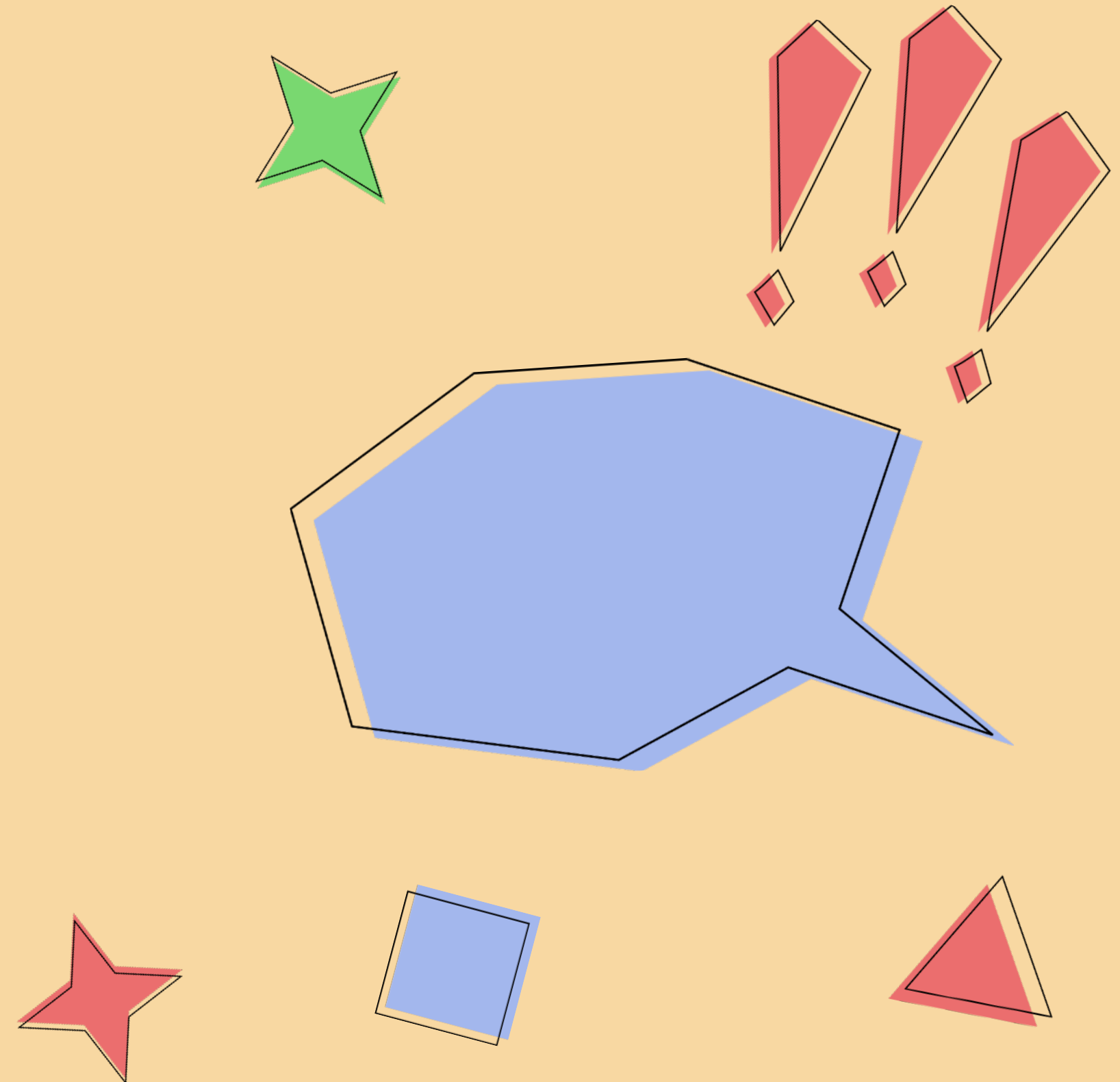
Квантовые числа и электронная оболочка

Состояние электрона в атоме описывается четырьмя квантовыми числами. Они задают набор возможных состояний и помогают объяснить, почему электронная оболочка формируется ступенчато и закономерно.

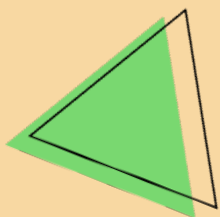
Главное квантовое число n связано с уровнем энергии и размером орбитали. Чем больше n , тем шире область пространства, в которой чаще всего «находится» электрон.

Орбитальное квантовое число l определяет форму орбитали: она зависит от того, каким «типом» симметрии обладает электронное облако. Это напрямую влияет на характерные распределения вероятности.

Магнитное квантовое число m описывает ориентацию орбитали в пространстве, а спиновое — собственный момент электрона. В совокупности эти параметры объясняют заполнение оболочек и химическое поведение элементов.

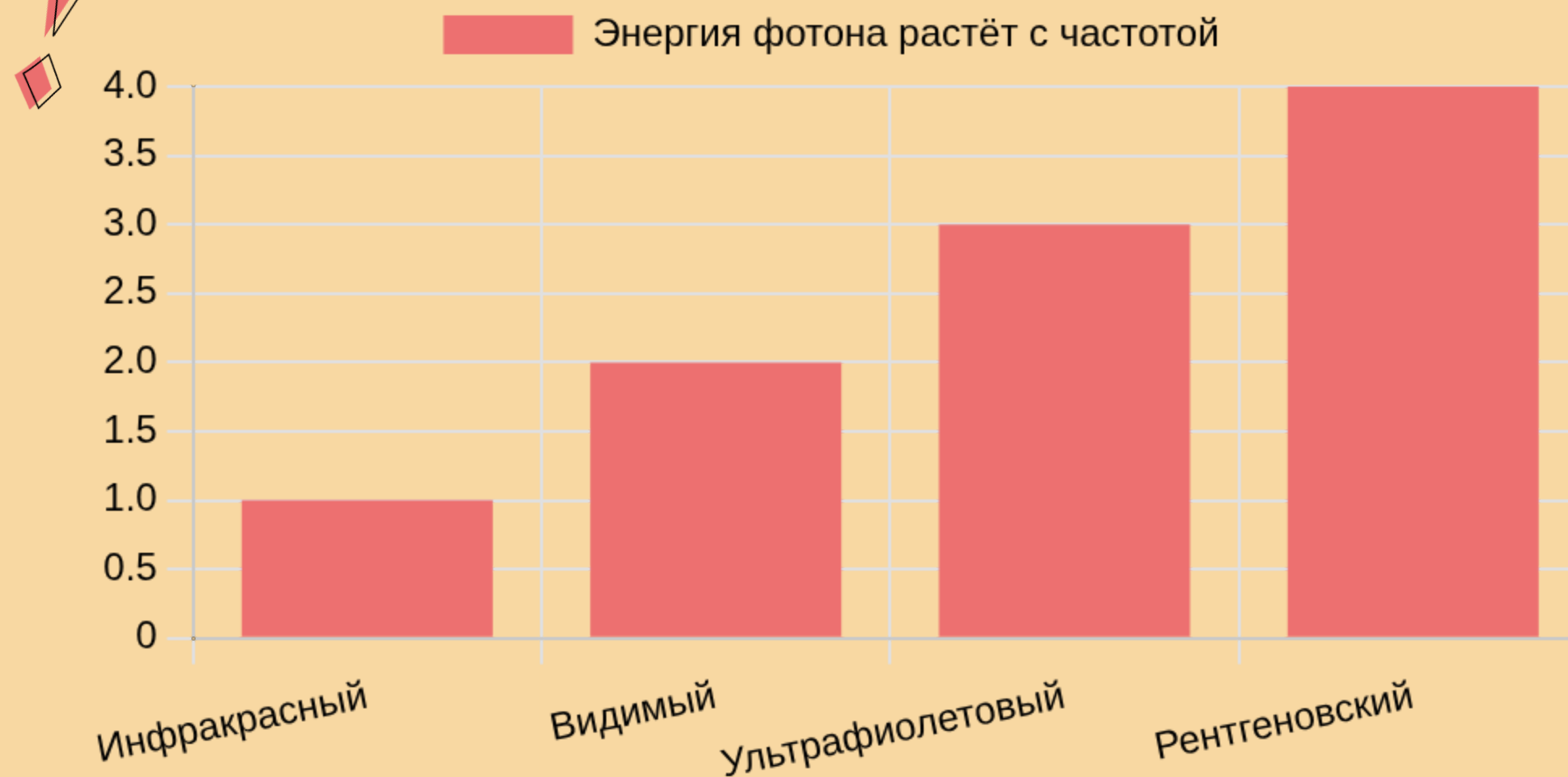
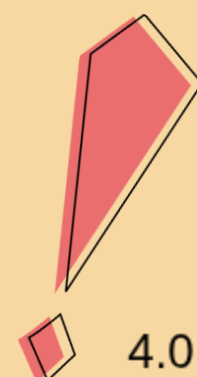
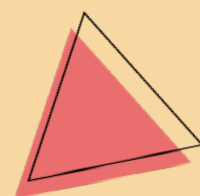
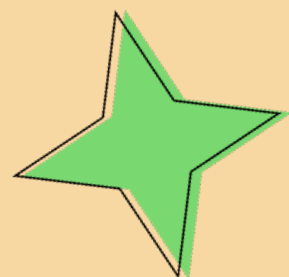


Энергия фотона и частота излучения

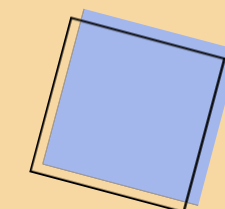


При переходе к более коротким длинам волн растёт частота, а значит увеличивается энергия фотона. Поэтому ультрафиолет и рентгеновское излучение сильнее взаимодействуют с веществом.

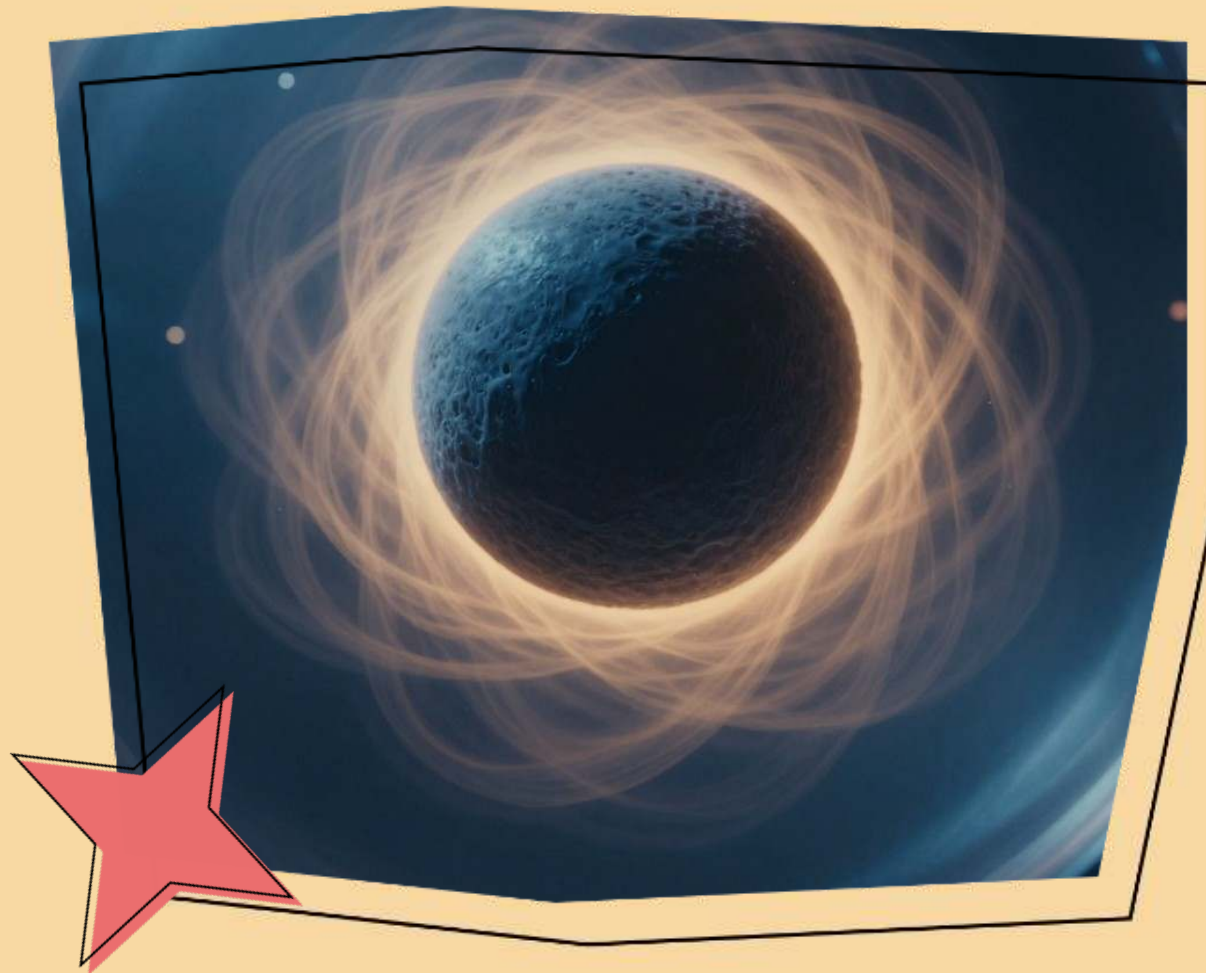
Рост энергии с частотой подтверждает идею квантов: фотон переносит энергию, пропорциональную частоте. Разные диапазоны спектра различаются по «прочности» воздействия на электронные системы.



Обобщённая учебная зависимость $E = h\nu$ (физика фотонов); численные значения на диаграмме условны для наглядного сравнения.



Электронное облако: геометрия вероятности



Сферическая тишина s-орбиталей

Представьте орбиталь как «облако вероятности»: там, где оно плотнее, электрон обнаруживается чаще. Для s-орбиталей распределение напоминает сферу вокруг ядра. Эта симметрия делает такие состояния базовыми при объяснении заполнения оболочек.



Два лепестка p-орбиталей как форма направления

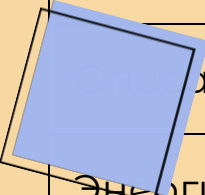
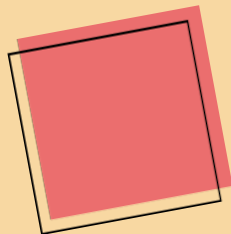
p-орбитали выглядят вытянутыми и содержат два выраженных лепестка по разные стороны ядра. Между ними есть область меньшей вероятности, что важно для понимания химической направленности связей. Геометрия p-облака помогает визуализировать,



Почему «карта вероятности» точнее траектории

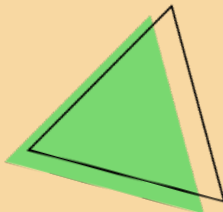
Электрон не летит по траектории, как шарик по рельсам: квантовое состояние задаёт распределение. Электронное облако связывает абстрактные формулы с наглядными формами орбиталей. Так становится понятнее, почему в атоме возможны строго определённые конфигурации электронов.

Классическая и квантовая картины микромира

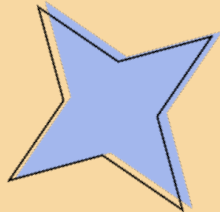


Признак	Классическая физика	Квантовая физика
Движение электрона	Траектория	Вероятностное состояние (орбиталь)
Энергия	Непрерывный набор	Дискретные уровни энергии
Объяснение устойчивости	Необъяснимо в общем виде	Описывается квантованными состояниями
Совпадение с опытом	Не объясняет спектры и фотоэффект	Согласуется с наблюдениями

Сводное сравнение концепций квантовой механики и классической физики в школьном курсе физики.

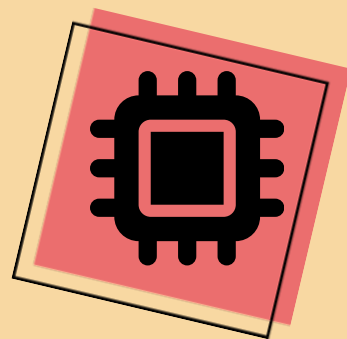


Сопоставление двух способов описания атома: классический опирается на траектории и непрерывную энергию, квантовый — на вероятности и дискретные уровни. Это различие объясняет, почему часть опытов «ломает» классическую картину.



Когда величины становятся дискретными, а поведение — вероятностным, исчезают противоречия между классическими моделями и экспериментом: устойчивость, спектры и фотоэффект получают единое объяснение.

Квантовая физика в современных технологиях



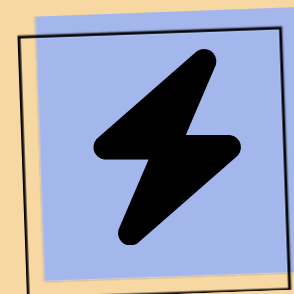
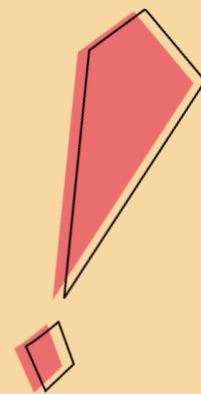
Полупроводники и транзисторы

В основе работы многих электронных устройств лежат квантовые свойства носителей заряда в материалах. Именно поэтому инженерия материалов опирается на уровни энергии и зонную структуру.



Светодиоды и источники света

Светодиоды излучают при переходах носителей между состояниями, где энергия меняется квантованно. Поэтому спектр и эффективность зависят от микроструктуры и энергетических уровней.



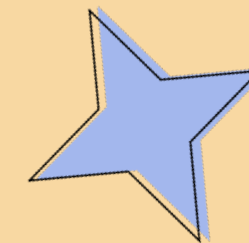
Лазеры и вынужденное излучение

Лазеры создают когерентный свет благодаря вынужденным переходам, когда излучение стимулирует дальнейшее излучения. Это делает свет узким по спектру и удобным для измерений и связи.



Диагностика: рентген и МРТ

В медицинской визуализации применяют рентгеновские методы и магнитно-резонансную томографию. Оба подхода опираются на взаимодействие излучения с атомными системами и их квантовые переходы.

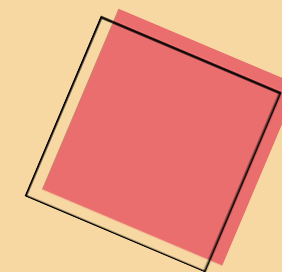
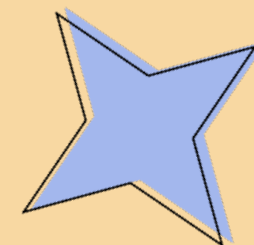
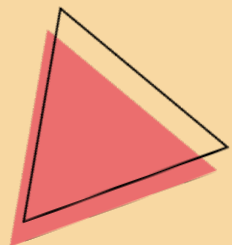
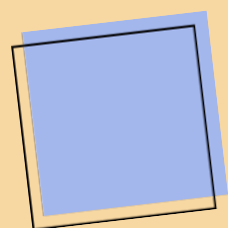
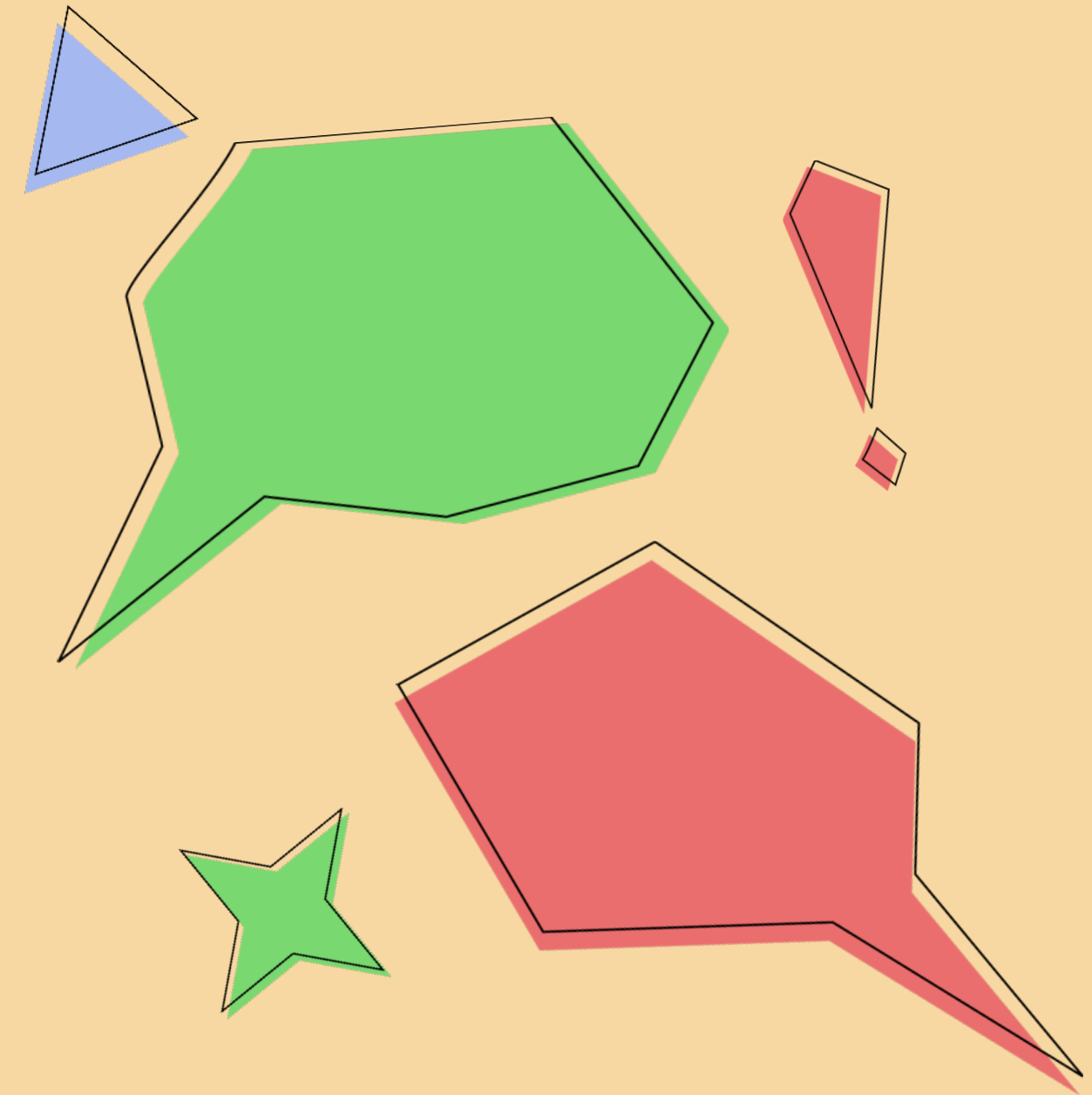


Значение квантовой теории для науки и жизни

Квантовая физика объясняет строение химических связей и свойства веществ, связывая наблюдаемое поведение материалов с микромиром атомов и электронов. Без неё многие закономерности остаются необъяснёнными.

Квантовые представления необходимы при описании наноматериалов, сверхпроводимости и многих процессов в астрофизике и химии. Поэтому квантовая теория остаётся практической наукой, а не только абстрактной моделью.

Она стала основой точных измерений: атомные часы используют квантовые переходы для стабильного отсчёта времени. Современная электроника также опирается на квантовые эффекты в материалах.



Границы применимости и открытые вопросы

Классические попытки

В начале XX века классическая физика сталкивается с проблемами: спектры, устойчивость атома и фотоэффект плохо согласуются с непрерывными энергиями и точными траекториями.

Современные направления поиска

Сегодня обсуждают интерпретации и пытаются связать квантовую физику с гравитацией, а также изучают переходы между микромиром и макромиром. Развиваются квантовая информация, квантовые вычисления и новые материалы.

Формирование квантовой механики

Квантовая механика описывает микромир с большой точностью: дискретные уровни энергии, вероятностные состояния и согласование с экспериментами становятся её сильной стороной.



Главный вывод: атом — квантовая система

Атом нельзя представить как уменьшённую модель Солнечной системы. Его свойства определяются ядром, электронами, квантованными уровнями энергии и вероятностным распределением частиц. Квантовая физика объясняет устойчивость вещества, спектры и фотоэффект, а потому лежит в основе ключевых технологий и важна в школьном курсе естествознания.

