

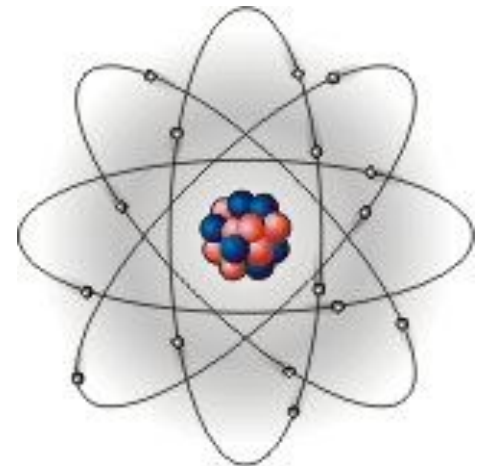
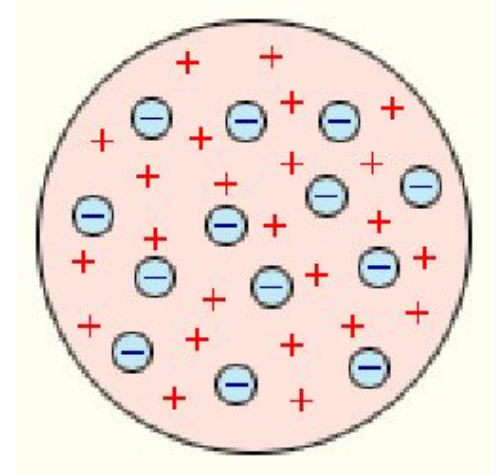
# Атомная физика

---

- I. Модели атома
- II. Эксперимент Резерфорда
- III. Постулаты Бора
- IV. Энергия связи
- V. Опыт Франка и Герца
- VI. Корпускулярно волновой дуализм свойств вещества.
- VII. Формула де Бройля.

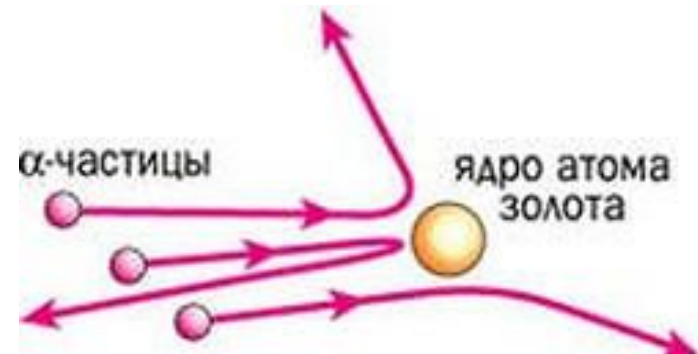
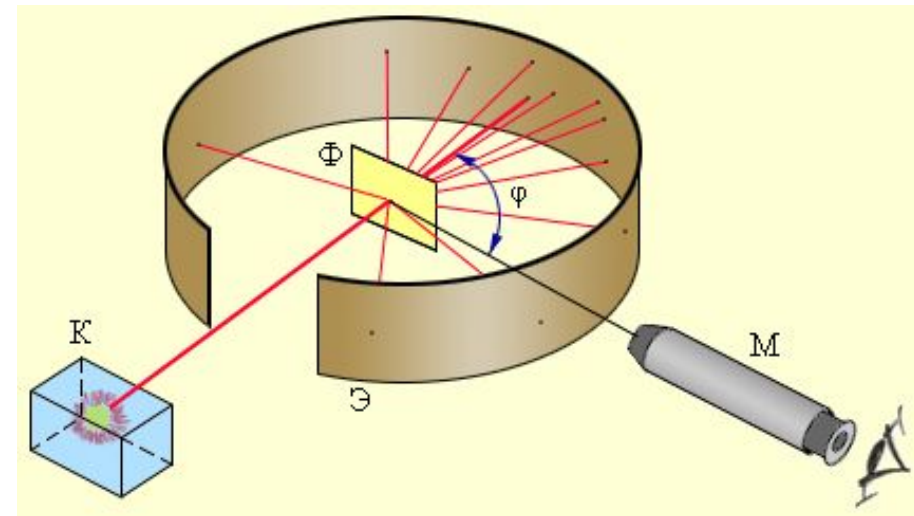
# Модели атома

- Атом наименьшая частица вещества, обладающая всеми химическими свойствами данного химического элемента.
- В 1903 г. Томсон предложил модель атома в виде «положительно заряженной булки с отрицательно заряженными изюминками».
- В 1911 г. Резерфорд предложил ядерную модель атома.



# Эксперимент Резерфорда

- Альфа-частицы падали на золотую фольгу
- Некоторые альфа-частицы отклонялись на большие углы от первоначального направления и даже отбрасывались назад
- Часть альфа-частиц проходит сквозь золотую фольгу без заметного изменения направления их движения.
- Это говорит о том, что атом не является сплошным образованием.

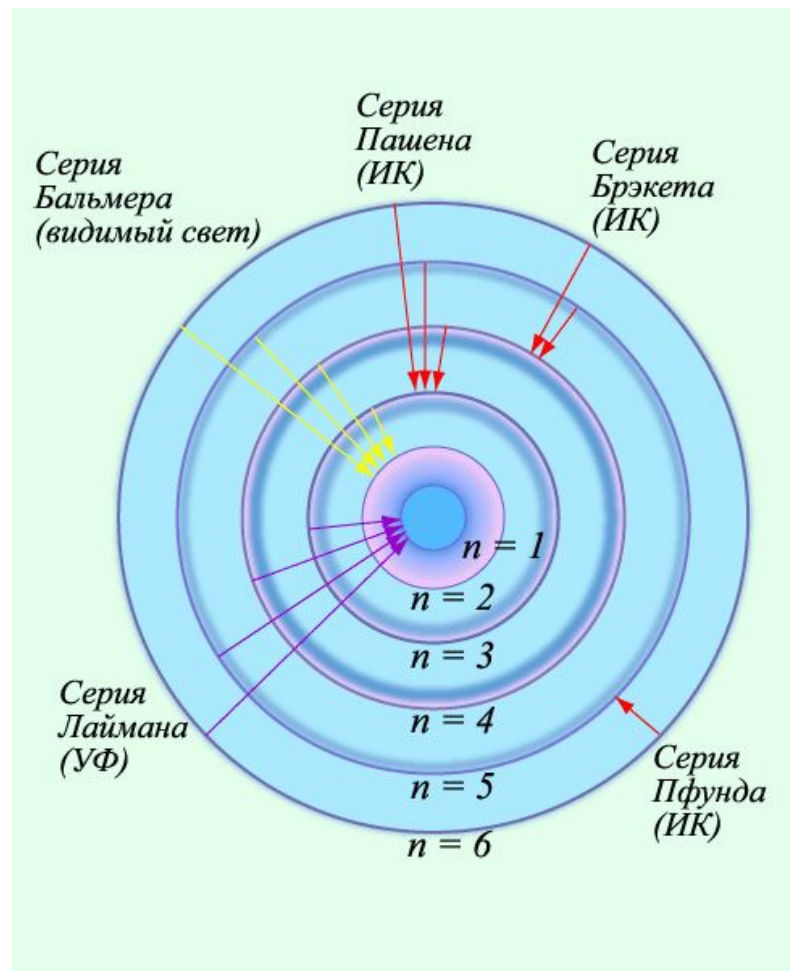


# Спектры водородоподобных атомов

- Сериальная формула Бальмера-Ридберга, описывающая частоты линий излучения в спектре атома водорода

$$\nu = R \left( \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

- где  $\nu$  - частота спектральных линий в спектре атома водорода;  $m$  и  $n$  – главные квантовые числа, характеризующие **энергетические уровни** атома, между которыми осуществляется переход при излучении света.

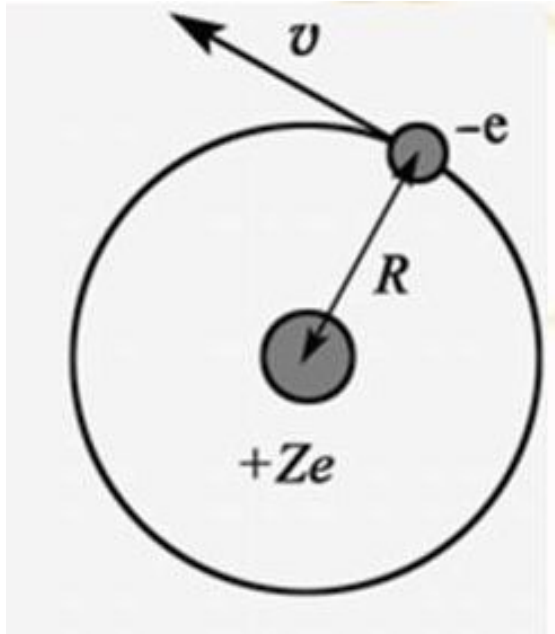


# Теория Бора

---

- Классическая физика не могла объяснить такие факты:
  - 1. Атом является устойчивой системой;
  - 2. Атом излучает энергию лишь в определенных условиях;
  - 3. Излучение атома имеет линейчатый спектр.
- Первая попытка построения теории атома водорода была предпринята Бором.
- Теория Бора была полуклассической, полуквантовой, но она смогла объяснить спектральные закономерности атома водорода и **водородоподобным ионам**, состоящих из ядра  $Ze$  и одного электрона ( $He^+$ ,  $L^{++}$  и т.д.).

# 1 постулат Бора



- *1 постулат Бора (постулат стационарных состояний).*
- В атоме существует набор стационарных состояний, находясь в которых атом не излучает энергию.
- Этим стационарным состояниям соответствуют стационарные круговые орбиты, по которым электроны движутся ускоренно, но, несмотря, на это, излучения э/м волн не происходит.

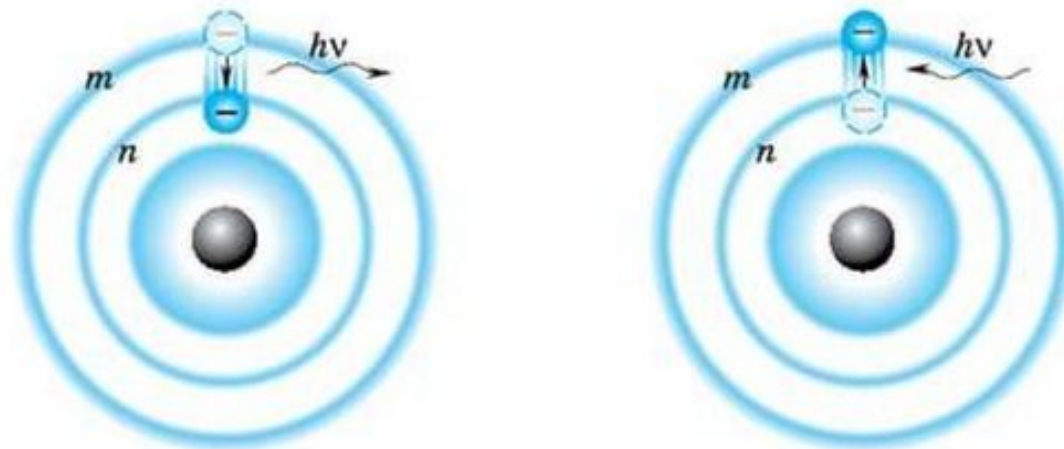
# 1 постулат Бора

---

- В стационарном состоянии атома, электрон, движущийся по круговой орбите, имеет квантованные значения момента импульса  $L_k$ , удовлетворяющие условию
- $L_k = m v r = k \hbar$
- где  $m$  – масса электрона;  $v$  – скорость электрона;  $r$  – радиус  $k$  – ой орбиты электрона;  $\hbar = h/2\pi$  ( $h$  – постоянная Планка);  $k$  - любое натуральное число,  $k = 1, 2, 3 \dots$

# 2 постулат Бора

- *2 постулат Бора ( правило частот)*
- При переходе атома из одного стационарного состояния в другое испускается или поглощается один фотон. Излучение фотона происходит при переходе атома из состояния с большей энергией в состояние с меньшей энергией. При обратном переходе происходит поглощение фотона.





## 2 постулат Бора

---

- Энергия фотона равна разности энергий в двух стационарных состояниях атома
- $h\nu = E_n - E_m$ ,
- где  $h$  – постоянная Планка,  
 $\nu$  - частота излучения или поглощения,  
 $E_n$  и  $E_m$  – энергия стационарных состояний атома до и после перехода.
- При  $E_n > E_m$  – происходит излучение фотона,  
при  $E_n < E_m$  – происходит поглощение фотона.

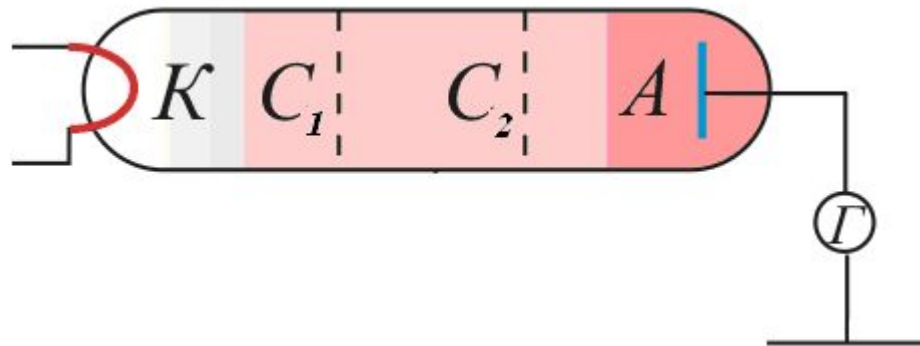
# Энергия связи

---

- *Энергией связи* электрона в атоме называется абсолютная величина
- $$E_n = -\frac{z^2 Rh}{n^2}$$
- где  $z$  – порядковый номер элемента в таблице Менделеева.
- Наименьшее значение при  $n = 1$  соответствует *основному или нормальному состоянию* атома.
- Все энергии при  $n > 1$  характеризуют *возбужденное состояние атома*.
- Важнейшим отличием возбужденных состояний является конечное время жизни  $\tau$  в этих состояниях ( $\tau \sim 10^{-8}$  с).
- При  $n \rightarrow \infty$  происходит отрыв электрона от атома или иона, т.е. ионизация.

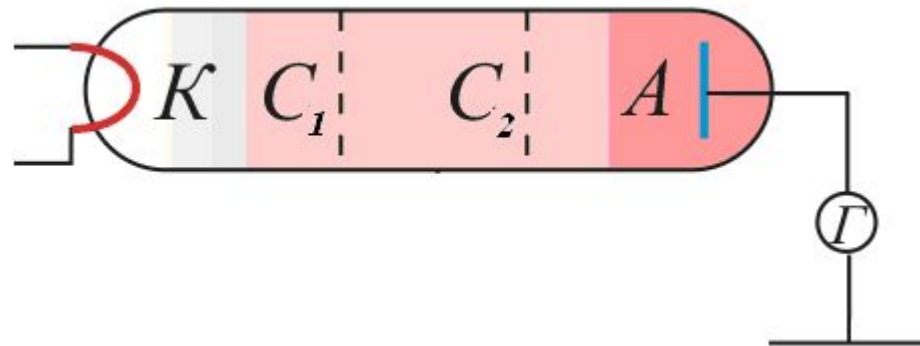
# Опыт Франка и Герца

- В вакуумной трубке находились пары ртути
- Электроны, испускаемые катодом, ускорялись разностью потенциалов, приложенной между сеткой  $C_1$  и катодом  $K$
- Электроны, вырванные из катода, между сетками  $C_1$  и  $C_2$  сталкивались с молекулами ртути, отдавая им порциями энергию



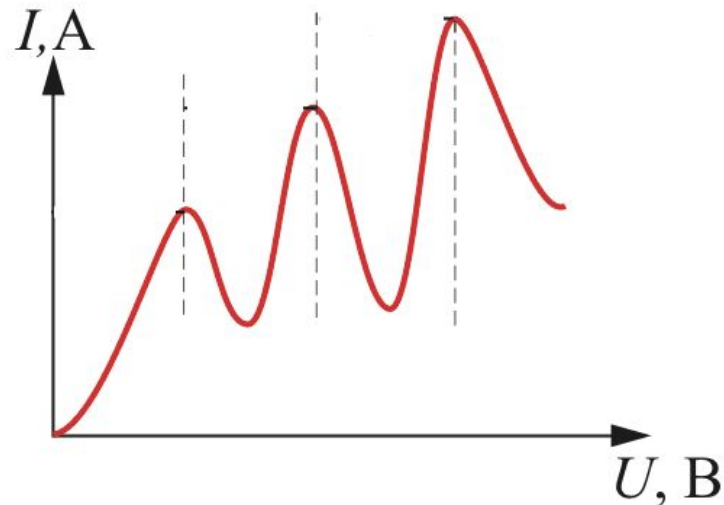
# Опыт Франка и Герца

- Между электронами и атомами ртути происходят упругие и неупругие столкновения
- При неупругих столкновениях атомы ртути получают энергию от электронов и переходят на более высокий уровень
- Электроны, которые после соударения с молекулами ртути имеют достаточно энергии для преодоления задерживающего потенциала между сеткой  $C_2$  и анодом  $A$ , достигают анода



# Опыт Франка и Герца

- Из графика зависимости тока между катодом и анодом от ускоряющего потенциала следует, что энергия поглощалась порциями
- Данный эксперимент сопровождается ультрафиолетовым излучением.



# Опыт Франка и Герца

---

- Опыты Франка и Герца экспериментально подтвердили первый и второй постулаты Бора.
- Франк и Герц экспериментально доказали дискретность значений энергии атома.
- Но теория Бора не могла объяснить правило квантования (поглощения и испускания энергии атомом порциями). Это было сделано десятилетием позже Луи де Бройлем.

# Корпускулярно-волновой дуализм света

---

## **СВЕТ - ВОЛНА**



- интерференция
- дифракция
- поляризация

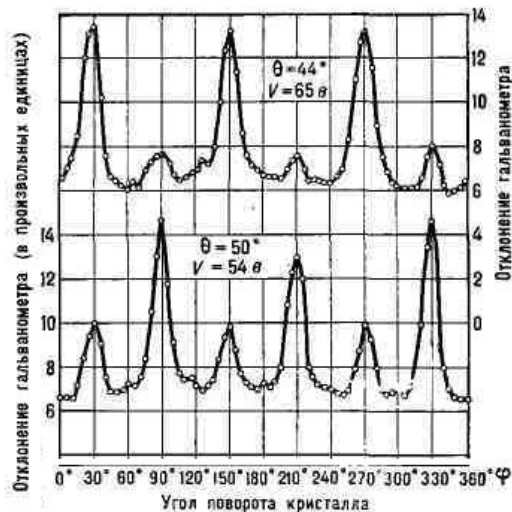
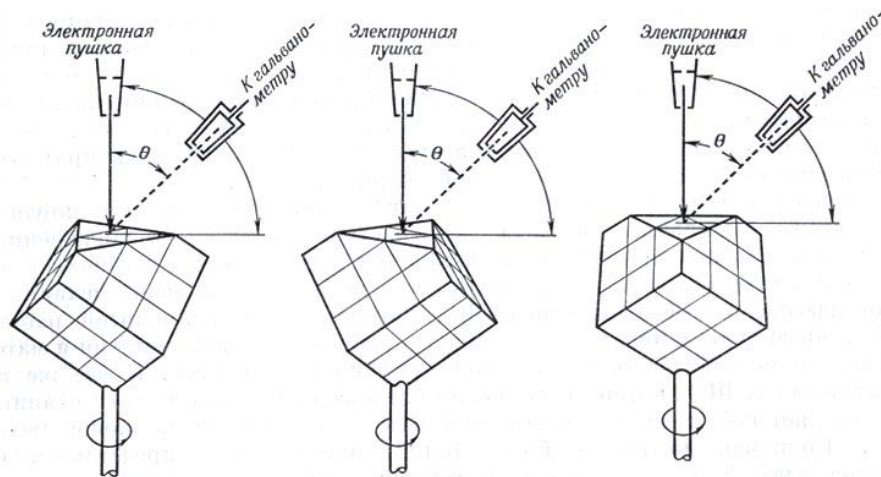
## **СВЕТ – ПОТОК ЧАСТИЦ**



- фотоэффект (красная граница)
- тепловое излучение

- Не только фотоны, но и электроны и другие частицы обладают не только корпускулярными, но и волновыми свойствами.

# Эксперимент Дэвиссона Джермера



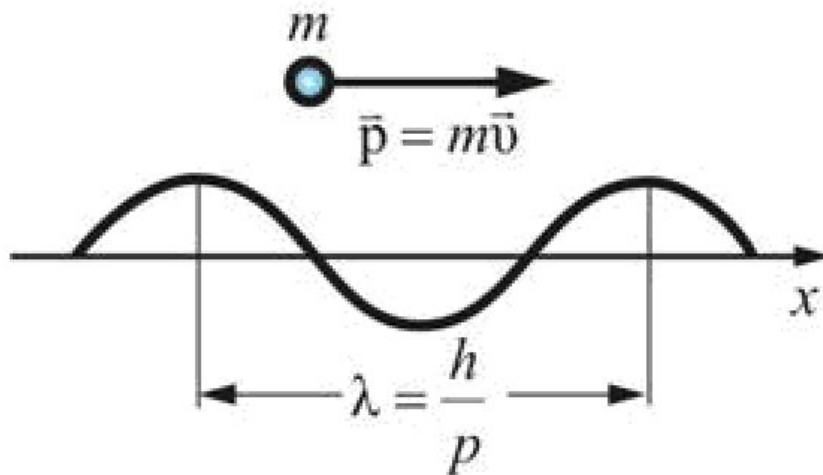
- Гипотезу Луи де Бройля подтвердил следующий эксперимент.
- Дэвиссон и Джермер обнаружили дифракцию электронов, отраженных от кристалла никеля.
- При этом возникали картины, подобные тем, которые наблюдаются при дифракции световых волн.



# Корпускулярно волновой дуализм свойств вещества

---

- Всякой микрочастице массой  $m$  движущейся со скоростью  $v$  может быть сопоставлена волна с длиной волны  $\lambda = h/mv$ .
- Такие волны называются *волнами де Бройля*.

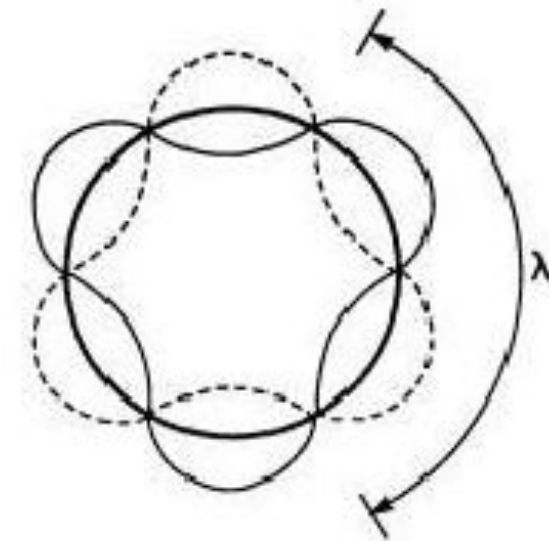
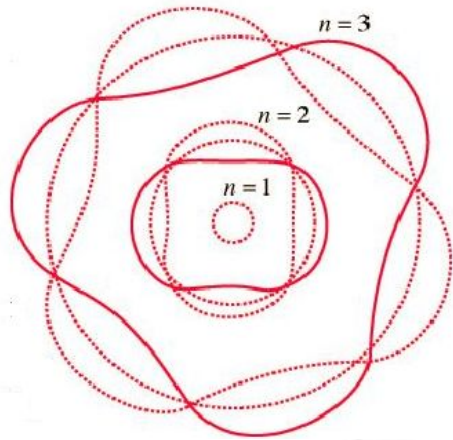


# Волны де Бройля в макромире

---

- Волновые свойства не наблюдаются у макроскопических тел.
- Длины волн де Бройля для таких тел настолько малы, что обнаружение волновых свойств оказывается невозможным.
- Например, для ружейной пули, массой  $m = 9$  г, летящей со скоростью  $v = 400$  м/с, то длина волны де Бройля  $\lambda = h/mv = 2 \cdot 10^{-34}$  м.
- В связи с этим можно считать, как это и делается в классической механике, что макроскопические тела не обладают волновыми свойствами.

# Волны Луи де Бройля



- Де Бройль предположил, что каждая волна в атоме водорода соответствует волне, распространяющейся по окружности около ядра атома. Стационарная орбита возникает в том случае, когда волна непрерывно повторяет себя после каждого оборота вокруг ядра.
- В стационарном состоянии атома водорода по длине орбиты должно укладываться целое число волн де Бройля.

# Ограниченность волновой теории в микромире

---

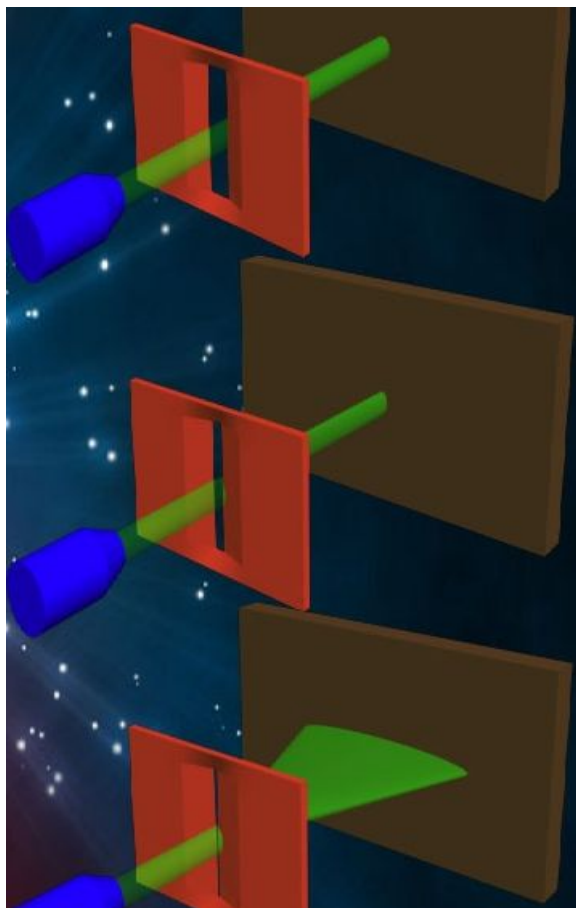
- Согласно двойственной корпускулярно-волновой природе частиц вещества для описания свойств микрочастиц используются либо волновые, либо корпускулярные представления.
- Возникает необходимость введения некоторых ограничений в применении к объектам микромира понятий классической механики.
- В классической механике всякая частица движется по определенной траектории, так что в любой момент времени точно фиксированы ее координата и импульс.

# Ограниченность волновой теории в микромире

---

- В квантовой физике нельзя говорить о движении микрочастицы по определенной траектории и об одновременных точных значениях ее координаты и импульса.
- Так как понятие "длина волны в данной точке" лишено физического смысла, а поскольку импульс  $p = h / \lambda$ , то микрочастица с определенным импульсом имеет полностью неопределенную координату.
- Т.е. для описания поведения микрочастиц есть ограничения, связанные с волновыми свойствами.

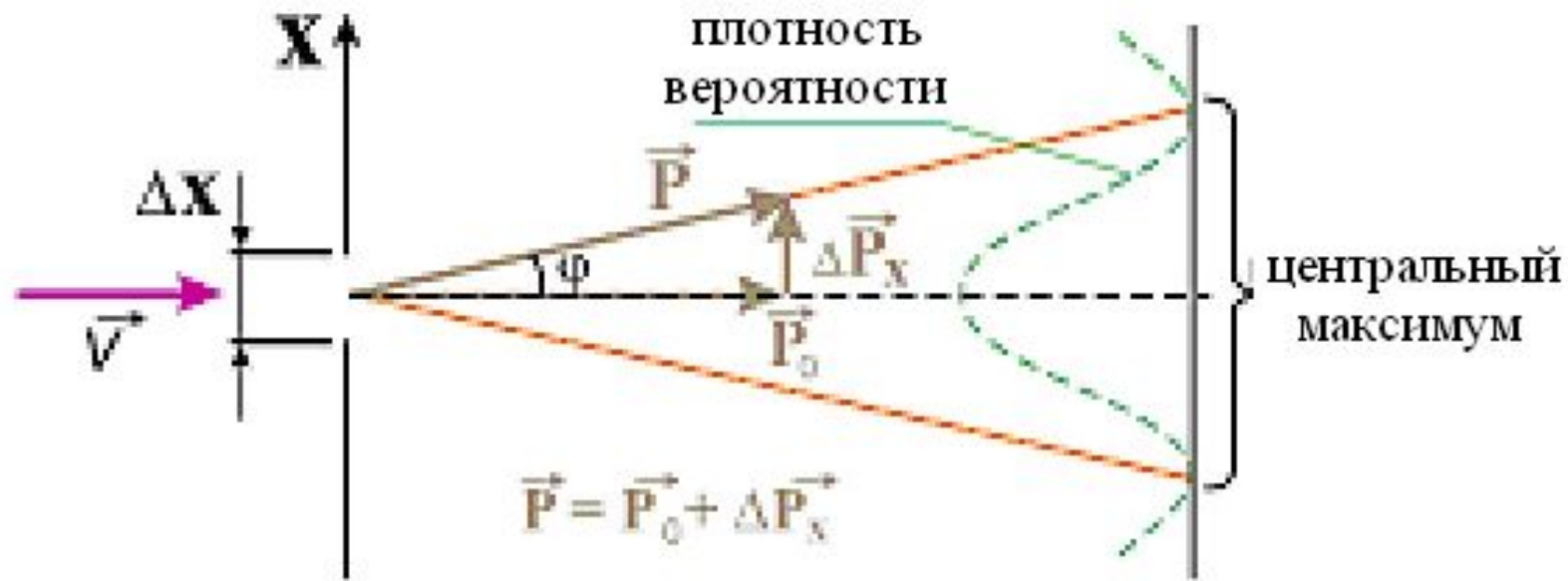
# Ограниченность волновой теории в микромире



- Пропуская лазерный луч через сужающуюся щель, можно наблюдать, что на экране след от лазера становится все уже.
- В определенный момент, когда щель становится достаточно узкой, пятно от лазера становится все шире и шире.
- Т.е. чем точнее мы определяем одну из характеристик квантовой системы, тем неопределенней становится вторая характеристика.

# Соотношение неопределенностей Гейзенберга

- Чем уже щель, тем неопределеннее становится импульс  $p_x$ .
- Чем шире щель  $\Delta x \rightarrow \infty$ , тем определеннее импульс  $\Delta p_x \rightarrow 0$ .



# Соотношение неопределенностей Гейзенберга

---

$$\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \hbar$$
$$\Delta y \cdot \Delta p_y \geq \hbar$$
$$\Delta z \cdot \Delta p_z \geq \hbar$$

в природе в принципе не существует состояний частиц с точно определенными значениями обеих переменных  $x$  и  $p$ .

$$\Delta t \cdot \Delta E \geq 2 \pi \hbar = h$$

*соотношение неопределенностей Гейзенберга для времени и энергии*