1. **Во́лны де Бро́йля** — [волны](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D0%B0) [вероятности](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B5%D1%80%D0%BE%D1%8F%D1%82%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C) (или волны [амплитуды вероятности](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BC%D0%BF%D0%BB%D0%B8%D1%82%D1%83%D0%B4%D0%B0_%D0%B2%D0%B5%D1%80%D0%BE%D1%8F%D1%82%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8)[[1]](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D1%8B_%D0%B4%D0%B5_%D0%91%D1%80%D0%BE%D0%B9%D0%BB%D1%8F#cite_note-.27.27.D0.A4.D0.B5.D0.B9.D0.BD.D0.BC.D0.B0.D0.BD_.D0.A0..2C_.D0.9B.D0.B5.D0.B9.D1.82.D0.BE.D0.BD_.D0.A0..2C_.D0.A1.D1.8D.D0.BD.D0.B4.D1.81_.D0.9C..27.27.2C_.D0.A4.D0.B5.D0.B9.D0.BD.D0.BC.D0.B0.D0.BD.D0.BE.D0.B2.D1.81.D0.BA.D0.B8.D0.B5_.D0.BB.D0.B5.D0.BA.D1.86.D0.B8.D0.B8_.D0.BF.D0.BE_.D1.84.D0.B8.D0.B7.D0.B8.D0.BA.D0.B5._.D0.92.D1.8B.D0.BF._3.E2.80.934.E2.80.941976.E2.80.94.E2.80.94221.E2.80.93222.2C_412.-1)),

определяющие [плотность вероятности](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BB%D0%BE%D1%82%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C_%D0%B2%D0%B5%D1%80%D0%BE%D1%8F%D1%82%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8) обнаружения [объекта](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%BE%D0%B1%D1%8A%D0%B5%D0%BA%D1%82) в заданной точке [конфигурационного пространства](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D1%84%D0%B8%D0%B3%D1%83%D1%80%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE). В соответствии с принятой терминологией говорят, что волны де Бройля связаны с любыми [частицами](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A7%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B8%D1%86%D1%8B) и отражают их [волновую природу](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D1%80%D0%BF%D1%83%D1%81%D0%BA%D1%83%D0%BB%D1%8F%D1%80%D0%BD%D0%BE-%D0%B2%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B9_%D0%B4%D1%83%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7%D0%BC).

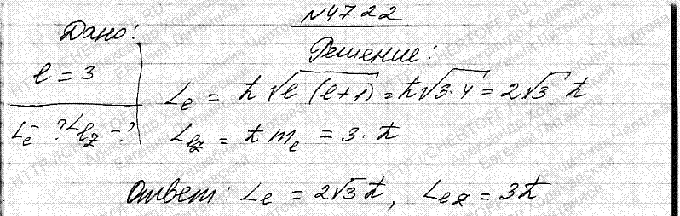
[1924 году](https://ru.wikipedia.org/wiki/1924_%D0%B3%D0%BE%D0%B4) французский физик [Луи де Бройль](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D1%80%D0%BE%D0%B9%D0%BB%D1%8C,_%D0%9B%D1%83%D0%B8_%D0%B4%D0%B5) высказал гипотезу о том, что установленный ранее[[2]](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D1%8B_%D0%B4%D0%B5_%D0%91%D1%80%D0%BE%D0%B9%D0%BB%D1%8F#cite_note-fe-2) для [фотонов](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%BE%D1%82%D0%BE%D0%BD) [корпускулярно-волновой дуализм](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D1%80%D0%BF%D1%83%D1%81%D0%BA%D1%83%D0%BB%D1%8F%D1%80%D0%BD%D0%BE-%D0%B2%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B9_%D0%B4%D1%83%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7%D0%BC) присущ всем частицам — [электронам](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD), [протонам](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%BE%D0%BD), [атомам](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D1%82%D0%BE%D0%BC) и так далее, причём количественные соотношения между волновыми и корпускулярными свойствами частиц те же, что и для фотонов. Таким образом, если частица имеет энергию E и импульс, абсолютное значение которого равно p, то с ней связана волна, частота которой \nu = E/h и длина волны \lambda = h/p, где h — [постоянная Планка](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%8F%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%9F%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D0%BA%D0%B0).[[2]](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D1%8B_%D0%B4%D0%B5_%D0%91%D1%80%D0%BE%D0%B9%D0%BB%D1%8F#cite_note-fe-2) Эти волны и получили название *волн де Бройля*.

Такие явления, как интерференция и дифракция света, убедительно свидетельствуют о волновой природе света. В то же время закономерности равновесного теплового излучения, фотоэффекта и [эффекта Комптона](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D1%84%D1%84%D0%B5%D0%BA%D1%82_%D0%9A%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D1%82%D0%BE%D0%BD%D0%B0) можно успешно истолковать с классической точки зрения только на основе представлений о свете, как о потоке дискретных фотонов. Однако волновой и корпускулярный способы описания света не противоречат, а взаимно дополняют друг друга, так как свет одновременно обладает и волновыми, и корпускулярными свойствами.

Волновые свойства света играют определяющую роль в закономерностях его интерференции, дифракции, поляризации, а корпускулярные — в процессах взаимодействия света с веществом. Чем больше длина волны света, тем меньше импульс и энергия фотона и тем труднее обнаружить корпускулярные свойства света. Например, внешний фотоэффект происходит только при энергиях фотонов, больших или равных работе выхода электрона из вещества. Чем меньше длина волны электромагнитного излучения, тем больше энергия и импульс фотонов и тем труднее обнаружить волновые свойства этого излучения. Например, рентгеновское излучение дифрагирует только на очень «тонкой» дифракционной решетке — кристаллической решетке твердого тела.

Гипотеза де Бройля объясняет ряд экспериментов, необъяснимых в рамках [классической физики](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%81%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D1%84%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B0):

* [Опыт Дэвиссона — Джермера](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%BF%D1%8B%D1%82_%D0%94%D1%8D%D0%B2%D0%B8%D1%81%D1%81%D0%BE%D0%BD%D0%B0_%E2%80%94_%D0%94%D0%B6%D0%B5%D1%80%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%B0) по [дифракции](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B8%D1%84%D1%80%D0%B0%D0%BA%D1%86%D0%B8%D1%8F) электронов на [кристаллах](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D1%80%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%BB) [никеля](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B8%D0%BA%D0%B5%D0%BB%D1%8C).
* [Опыт Дж. П. Томсона](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%9E%D0%BF%D1%8B%D1%82_%D0%94%D0%B6._%D0%9F._%D0%A2%D0%BE%D0%BC%D1%81%D0%BE%D0%BD%D0%B0&action=edit&redlink=1) по дифракции электронов на [металлической](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%BB) фольге.
* [Эффект Рамзауэра](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D1%84%D1%84%D0%B5%D0%BA%D1%82_%D0%A0%D0%B0%D0%BC%D0%B7%D0%B0%D1%83%D1%8D%D1%80%D0%B0) аномального уменьшения [сечения рассеяния](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B5%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D1%80%D0%B0%D1%81%D1%81%D0%B5%D1%8F%D0%BD%D0%B8%D1%8F) электронов малых энергий [атомами](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D1%82%D0%BE%D0%BC) [аргона](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D1%80%D0%B3%D0%BE%D0%BD).
* Дифракция [нейтронов](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B5%D0%B9%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD) на кристаллах (опыты [Г. Хальбана](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%A5%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%B1%D0%B0%D0%BD,_%D0%93%D0%B0%D0%BD%D1%81_%D1%84%D0%BE%D0%BD&action=edit&redlink=1), П. Прайсверка и Д. Митчелла).

2)

3) **Бе́та-распа́д** (β-распад) — тип [радиоактивного распада](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B0%D0%B4%D0%B8%D0%BE%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B8%D0%B2%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D1%80%D0%B0%D1%81%D0%BF%D0%B0%D0%B4), обусловленный [слабым взаимодействием](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BB%D0%B0%D0%B1%D1%8B%D0%B5_%D0%B2%D0%B7%D0%B0%D0%B8%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%B9%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%B8%D1%8F) и изменяющий [заряд ядра](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B0%D1%80%D1%8F%D0%B4%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B5_%D1%87%D0%B8%D1%81%D0%BB%D0%BE) на единицу, в соответствии [правилом радиоактивных смещений Содди и Фаянса](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B0%D0%BA%D0%BE%D0%BD_%D1%80%D0%B0%D0%B4%D0%B8%D0%BE%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B8%D0%B2%D0%BD%D1%8B%D1%85_%D1%81%D0%BC%D0%B5%D1%89%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B9) без изменения [массового числа](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B0%D1%81%D1%81%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B5_%D1%87%D0%B8%D1%81%D0%BB%D0%BE). При этом распаде [ядро](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AF%D0%B4%D1%80%D0%BE_%D0%B0%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%B0) *излучает* [бета-частицу](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%B5%D1%82%D0%B0-%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B8%D1%86%D0%B0) ([электрон](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD) или [позитрон](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D0%B7%D0%B8%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD)), а также нейтральную частицу с полуцелым спином (электронное антинейтрино или [электронное нейтрино](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%BD%D0%B5%D0%B9%D1%82%D1%80%D0%B8%D0%BD%D0%BE))

Традиционно к бета-распаду относят распады двух видов:

* ядро (или нейтрон) испускает [электрон](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD) и [антинейтрино](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BD%D1%82%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D0%B9%D1%82%D1%80%D0%B8%D0%BD%D0%BE) — «бета-минус-распад» (β−).
* ядро [испускает позитрон](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D0%B7%D0%B8%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%8D%D0%BC%D0%B8%D1%81%D1%81%D0%B8%D1%8F) и нейтрино — «бета-плюс-распад» (β+).

При электронном распаде возникает антинейтрино, при позитронном распаде — нейтрино. Это обусловлено фундаментальным [законом сохранения лептонного заряда](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%B5%D0%BF%D1%82%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D1%87%D0%B8%D1%81%D0%BB%D0%BE).

Кроме β− и β+-распадов, к бета-распадам относят также [электронный захват](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%B7%D0%B0%D1%85%D0%B2%D0%B0%D1%82), (К-захват) в котором ядро *захватывает* электрон из своей электронной оболочки и испускает электронное нейтрино. Нейтрино (антинейтрино), в отличие от электронов и позитронов, крайне слабо взаимодействует с веществом и уносят с собой часть доступной энергии распада.

В β−-распаде [слабое взаимодействие](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BB%D0%B0%D0%B1%D0%BE%D0%B5_%D0%B2%D0%B7%D0%B0%D0%B8%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%B9%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%B8%D0%B5) превращает [нейтрон](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B5%D0%B9%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD) в [протон](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%BE%D0%BD), при этом испускаются электрон и электронное [антинейтрино](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BD%D1%82%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D0%B9%D1%82%D1%80%D0%B8%D0%BD%D0%BE):

n^{0}\rightarrow p^{+}+e^{-}+{\bar {\nu }}_{e}.

В β+-распаде протон *в ядре* превращается в нейтрон, [позитрон](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D0%B7%D0%B8%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD) и [нейтрино](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B5%D0%B9%D1%82%D1%80%D0%B8%D0%BD%D0%BE):

p^{+}\rightarrow n^{0}+e^{+}+{\nu }_{e}.

Во всех случаях, когда β+-распад энергетически возможен (и протон является частью ядра, несущего электронные оболочки либо находящегося в плазме со свободными электронами), он сопровождается конкурирующим процессом [электронного захвата](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%B7%D0%B0%D1%85%D0%B2%D0%B0%D1%82), при котором электрон атома захватывается ядром с испусканием нейтрино:

p^{+}+e^{-}\rightarrow n^{0}+{\nu }_{e}.

Когда протон и нейтрон являются частями [атомного ядра](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D1%8F%D0%B4%D1%80%D0%BE), процессы бета-распада превращают один химический элемент в другой, соседний по [таблице Менделеева](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0_%D1%85%D0%B8%D0%BC%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D1%85_%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%BE%D0%B2). Например:

\mathrm {{}^{1}{}_{55}^{37}Cs} \rightarrow \mathrm {{}^{1}{}_{56}^{37}Ba} +e^{-}+{\bar {\nu }}_{e} (\beta ^{-}-распад),

\mathrm {~_{11}^{22}Na} \rightarrow \mathrm {~_{10}^{22}Ne} +e^{+}+{\nu }_{e} (\beta ^{+}-распад),

\mathrm {~_{11}^{22}Na} +e^{-}\rightarrow \mathrm {~_{10}^{22}Ne} +{\nu }_{e} (электронный захват).

Бета-распад не меняет число [нуклонов](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D1%83%D0%BA%D0%BB%D0%BE%D0%BD) в ядре *A*, но меняет только его [заряд](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%B7%D0%B0%D1%80%D1%8F%D0%B4) *Z* (а также число нейтронов *N*). Таким образом, может быть введён набор всех нуклидов с одинаковым *A*, но различными *Z* и *N* (изобарная цепочка); эти [*изобарные*](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%B7%D0%BE%D0%B1%D0%B0%D1%80) нуклиды могут последовательно превращаться друг в друга при бета-распаде. Среди них некоторые нуклиды (по крайней мере, один) бета-стабильны, поскольку они представляют собой локальные минимумы [избытка массы](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B5%D1%84%D0%B5%D0%BA%D1%82_%D0%BC%D0%B0%D1%81%D1%81%D1%8B): если такое ядро имеет числа(*A*, *Z*), соседние ядра (*A*, *Z* − 1) и (*A*, *Z* + 1) имеют больший излишек массы и могут распадаться посредством бета-распада в (*A*, *Z*), но не наоборот. Необходимо заметить, что бета-стабильное ядро может подвергаться другим типам радиоактивного распада ([альфа-распаду](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BB%D1%8C%D1%84%D0%B0-%D1%80%D0%B0%D1%81%D0%BF%D0%B0%D0%B4" \o "Альфа-распад), например). Большинство изотопов, существующих в природных условиях на Земле, бета-стабильны, но существует несколько исключений с такими большими [периодами полураспада](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%BE%D0%B4_%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D1%83%D1%80%D0%B0%D1%81%D0%BF%D0%B0%D0%B4%D0%B0), что они не успели исчезнуть за примерно 4,5 млрд лет, прошедшие с момента [нуклеосинтеза](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D1%83%D0%BA%D0%BB%D0%B5%D0%BE%D1%81%D0%B8%D0%BD%D1%82%D0%B5%D0%B7" \o "Нуклеосинтез). Например, [40K](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B9-40), который испытывает все три типа бета-распада (бета-минус, бета-плюс и электронный захват), имеет период полураспада 1,277·109 лет.

Бета-распад можно рассматривать как переход между двумя квантовомеханическими состояниями, обусловленный возмущением, поэтому он подчиняется [золотому правилу Ферми](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D1%82%D0%BE%D0%B5_%D0%BF%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%B8%D0%BB%D0%BE_%D0%A4%D0%B5%D1%80%D0%BC%D0%B8).

4) (P.S. [0.01 заменить на 0,05])

|  |
| --- |
|  |
|  | http://xn--h1alds.xn--p1ai/f975.files/image865.gif |

|  |
| --- |
|  |
|  | http://xn--h1alds.xn--p1ai/f975.files/image867.gif |

|  |
| --- |
|  |
|  | http://xn--h1alds.xn--p1ai/f975.files/image869.gif |

|  |
| --- |
|  |
|  | http://xn--h1alds.xn--p1ai/f975.files/image871.gif |