



Российский университет
дружбы народов



РОССИЙСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
ДРУЖБЫ
НАРОДОВ



Волна де Бройля как амплитудно-модулированный сигнал

Самсоненко Н. В.,

nsamson@bk.ru;

Сёмин М. В.

mvsemin@yandex.ru

г. Москва, 10.04. 2023г.

Показано, что решение волнового уравнения в квантовой механике можно 2 рассматривать как математический образ амплитудно-модулированного сигнала.

Рассмотрены три случая:

- 1. Модуляция в вероятностной квантовой механике. В этом случае показано, что модуляция невозможна.**
- 2. Модуляция импульсом частицы волны де Бройля в её первоначальной трактовке как реальной волны в реальном пространстве (x, y, z, t) в отличие от волны вероятности в абстрактном конфигурационном пространстве. В этом случае эффект присутствует и проявляется в появлении боковых частот у волны де Бройля.**
- 3. Как следствие модуляции рассматривается механизм образования массивных частиц двумя безмассовыми бегущими навстречу друг другу волнами, образующими стоячую волну со свойствами частицы. При движении образовавшегося объекта в силу эффекта Доплера также появляются боковые частоты двух волн, которые движутся со скоростями $v < c$ и $V > c$.**

Модуляция в вероятностной квантовой механике

Решение всех уравнений:

Шрёдингера,

Паули,

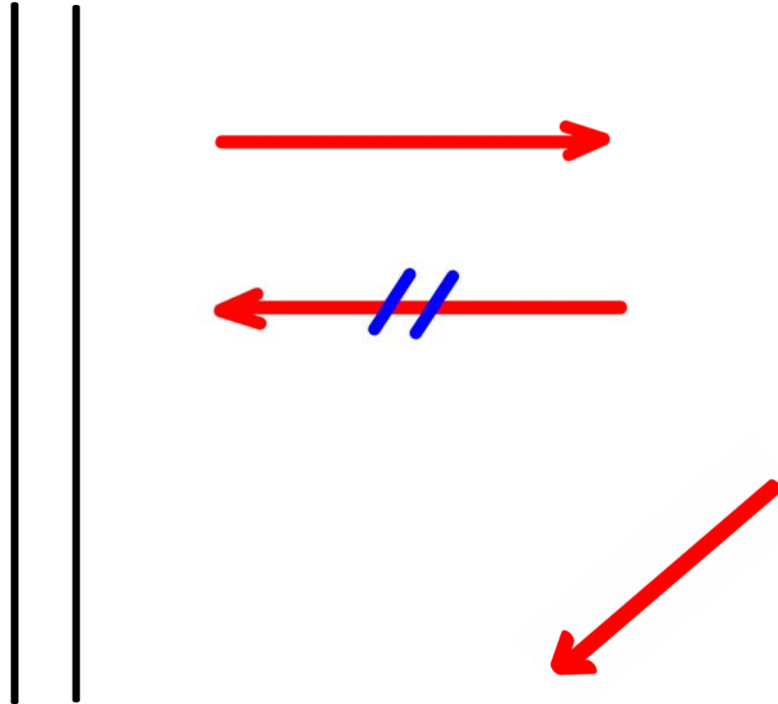
Дирака,

Максвелла,

Петью-Дуффина

.....

Эйнштейна



Удовлетворяет
волновому
уравнению
 $(\square + m^2)\psi = 0$

Электрону приписывается $\psi = ue^{i(\omega t - \vec{k}\vec{r})}$, одна волна в силу теоремы о единственности.

Но для модуляции нужно 2 волны!

Вывод: модуляция невозможна.

Отказ от вероятностной интерпретации

4

Используем отображение Картана

Спинор $\psi \rightarrow$ изотропный вектор $\vec{F} = \vec{E} + i\vec{H}$

$$\vec{F}^2 = 0 \quad \downarrow \quad \rightarrow \quad \begin{cases} \vec{E}^2 - \vec{H}^2 = 0 \\ \vec{E} \cdot \vec{H} = 0 \end{cases}$$

Уравнение Дирака

$$\hat{D}\psi = 0 \quad \rightarrow \quad \hat{D}\vec{F} = 0 \quad (1)$$

Полная энергия равна:

$$\int |\vec{F}|^2 dV = \int (\vec{E}^2 + \vec{H}^2) dV = \varepsilon = \text{const} \quad (2)$$

Получение вероятностной квантовой механики

5

Обе части формулы 2 разделим на константу \mathcal{E} :

$$\int \left(\frac{1}{\sqrt{\mathcal{E}}} \vec{F}^* \right) \left(\frac{1}{\sqrt{\mathcal{E}}} \vec{F} \right) dV = 1 \quad (3)$$

Мы нормировали $\vec{F} = \vec{E} + i\vec{H}$ на полную энергию.

Вывод:

Величина $\frac{1}{\sqrt{\mathcal{E}}} (\vec{E} + i\vec{H})$ - волновая функция.

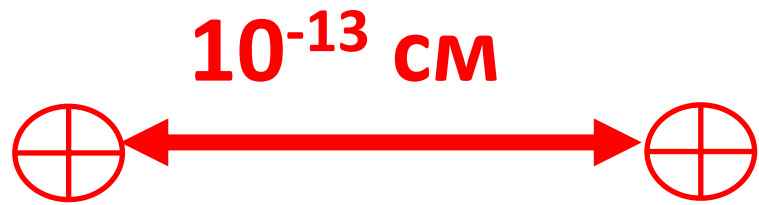
Защищена первая диссертация в 1994 г.

Буликунзира Сильвестр (Руанда):

**«Тензорный формализм описания фермионов и новый метод
вычисления матричных элементов»**

Содержание

- 1. 4 типа фундаментальных взаимодействий**
- 2. Фундаментальные фермионы**
- 3. Свойства волн де Бройля**
- 4. Волна де Бройля как амплитудно-модулированный сигнал**
- 5. Возможность экспериментальной проверки**
- 6. Заключение**
- 7. Список литературы**



Типы взаимодействий 7

	Интенсивность	Зависимость от r	Асимптотика	Кванты	Связанные состояния	Зависимость от E
СВ	1	$\sim 1/r^{6-12}$	0	глюоны	Ядра	
ЭМВ	10^{-2}	$\sim 1/r$	$1/r$	γ	Атомы	
СЛВ	10^{-5}	$\sim 1/r^{6-12}$	0	W^{\pm}, Z	?	
ГРВ	10^{-38}	$\sim 1/r$	$1/r$	g_r	Галактики, Вселенная	

Фундаментальная симметрия фундаментальных фермионов

$$\begin{pmatrix} e^- \\ \nu_e \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mu^- \\ \nu_\mu \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \tau^- \\ \nu_\tau \end{pmatrix} \longleftrightarrow \begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c \\ s \end{pmatrix} \begin{pmatrix} t \\ b \end{pmatrix}$$

Лабораторные ограничения на массы

$$m_{\bar{\nu}_e} \leq 1 \text{ эВ}/c^2$$

$$m_{\nu_\mu} \leq 270 \text{ эВ}/c^2$$

$$m_{\nu_\tau} \leq 18.2 \text{ МэВ}/c^2$$

Астрофизические ограничения (2015 г.)

$$|\nu_i - \nu_j| \leq 2.7 \cdot 10^{-3} \text{ эВ}/c^2$$

$$i, j = \nu_e, \nu_\mu, \nu_\tau,$$

Актуальность: Нет единых физических представлений о том, что такое волна де Бройля .

Мы придерживаемся точки зрения де Бройля [1] на то, что волны материи **не абстрактны** и существуют **в нашем пространстве** (x, y, z, t) , в отличие от конфигурационного пространства $3N$ измерений.

Основная идея работы заключается в том, чтобы на примере **амплитудной модуляции** в классическом радиопередатчике показать механизм создания частиц и волн де Бройля.

1. Волна де Бройля носит универсальный характер и существует не только у квантовых объектов, но и у макроскопических:

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{h}{p} = \frac{h}{\hbar k} = \frac{1}{k} \quad \text{— не зависит от } h! \quad (4)$$

2. Волна де Бройля является **фазовой** волной и она не переносит энергию.

3. **Волной де Бройля** обладают **все частицы** (> 400) включая истинно нейтральные.

Например, π^0 - мезон имеет нулевое значение электрического заряда, магнитного момента, барионного и лептонного чисел, изотопического спина и т.д.

4. Волна де Бройля всегда **связана с частицей**. Если нет частицы, то и нет волны [3].

5. Скорость волны де Бройля

$$V = \frac{c^2}{v} > c, \quad (5)$$

так что всегда выполняется равенство

$$v \cdot V = c^2, \quad (6)$$

где v – скорость частицы, $v < c$.

6. По де Бройлю фотон обладает массой $m_\gamma > 0$ и скорость его волны всегда больше скорости света $V_\gamma > c$.

7. Волна де Бройля обладает дисперсией даже в вакууме

$$V = \frac{c^2}{v} = f(\omega). \quad (7)$$

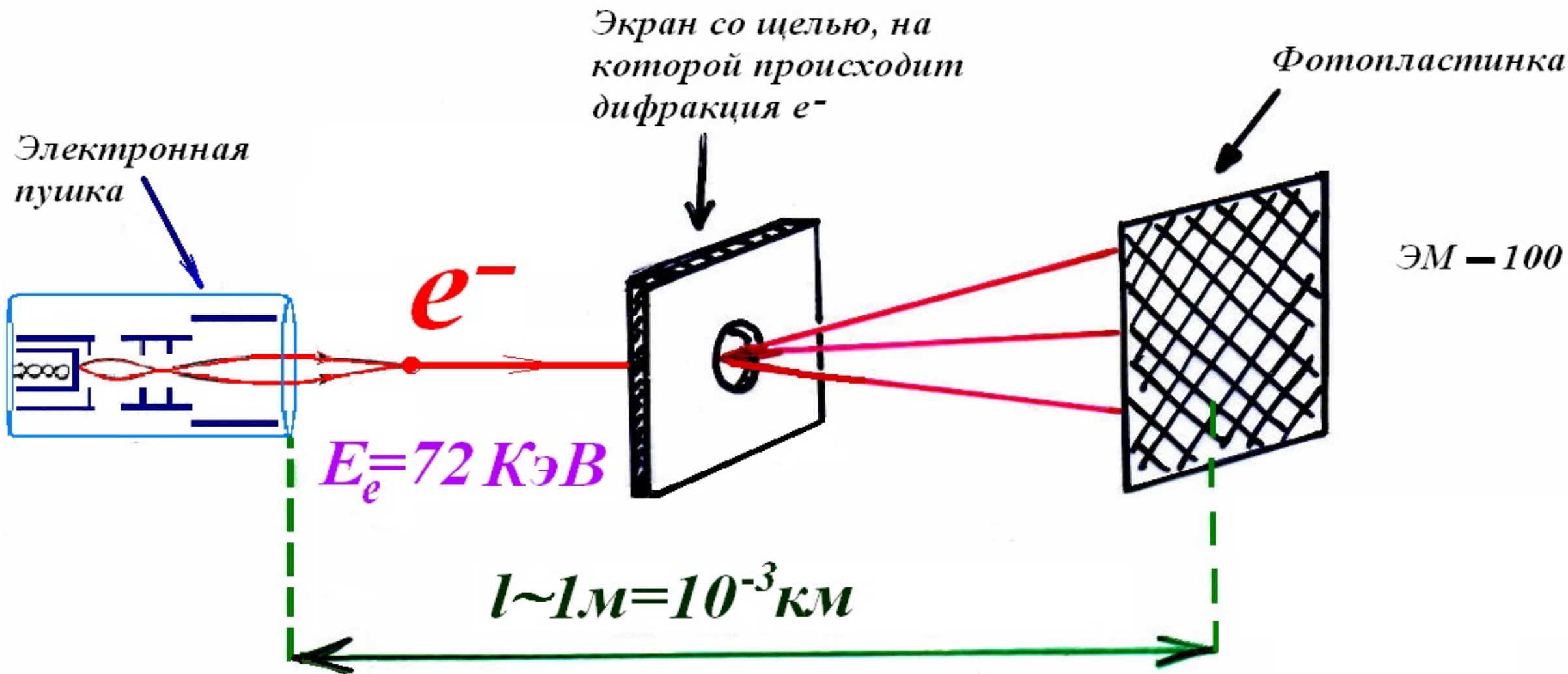
8. Для движущейся частицы существуют две волны: $v \cdot V = c^2$. (8)

9. Для покоящейся частицы волны нет: $0 \cdot \infty = c^2$. (9)

10. Модель частицы с массой $m_0 \neq 0$ можно представить в виде стоячей «электромагнитной» волны де Бройля.

Дифракция одиночных электронов

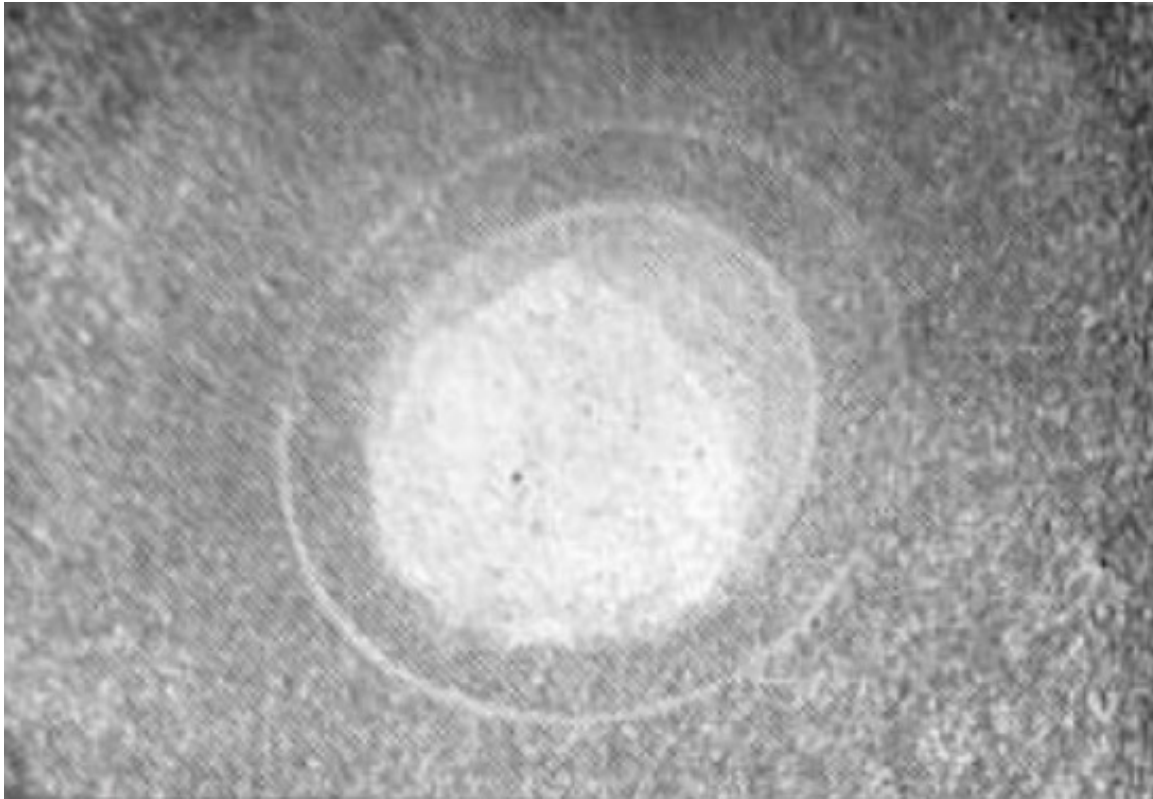
12



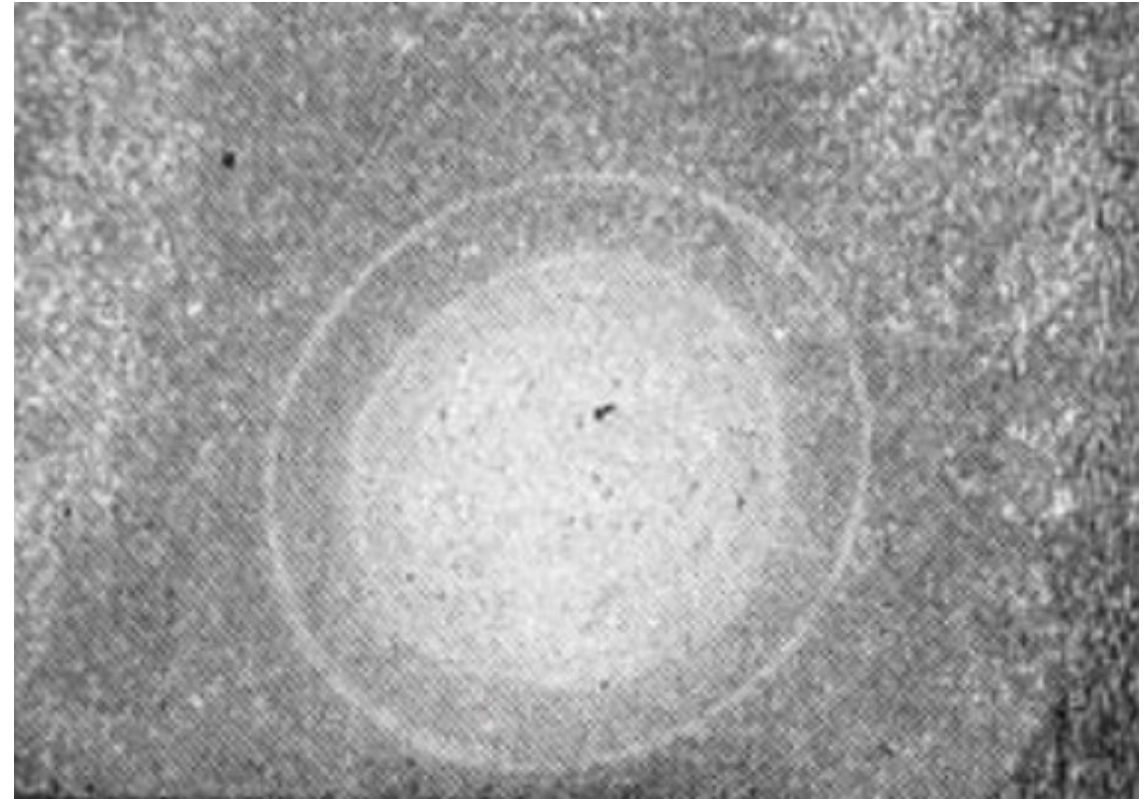
Эксперимент Бибермана-Сушкина-Фабриканта (1949 г.)

Независимость дифракционной картины от интенсивности потока электронов

13

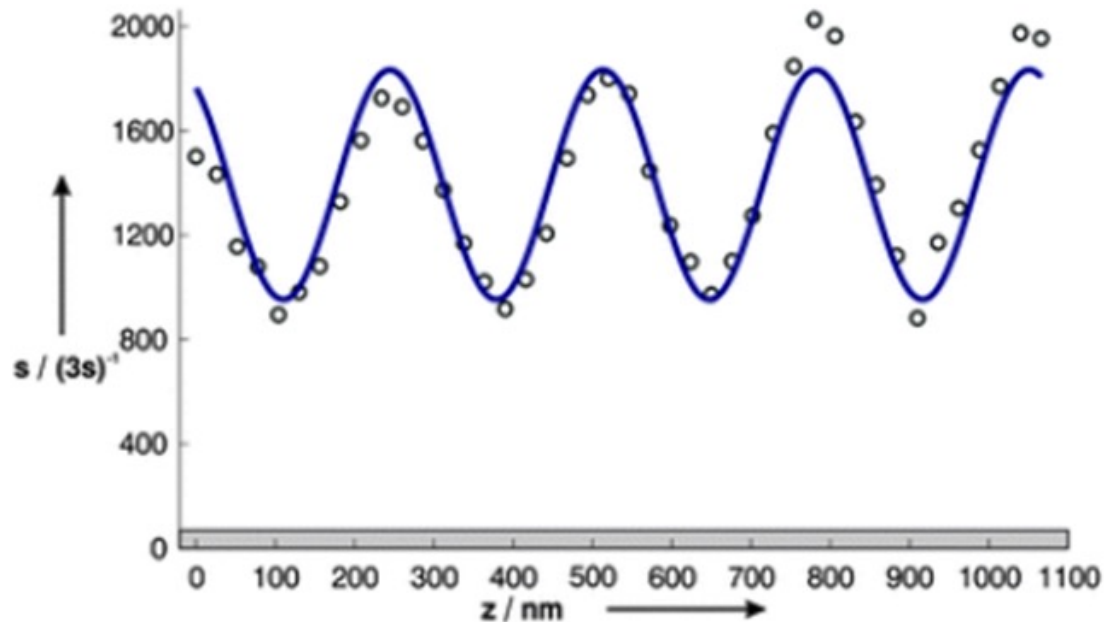


Картина, получаемая при длительной экспозиции в слабых пучках.
Изображение на картинке не является дифракцией одиночного электрона!



Картина, получаемая при дифракции мощных пучков электронов.

Интерференция на органическом соединении с 14 порфириновым ядром ($m = 10132$ а.е.м). (Eibenberger S., 2013)



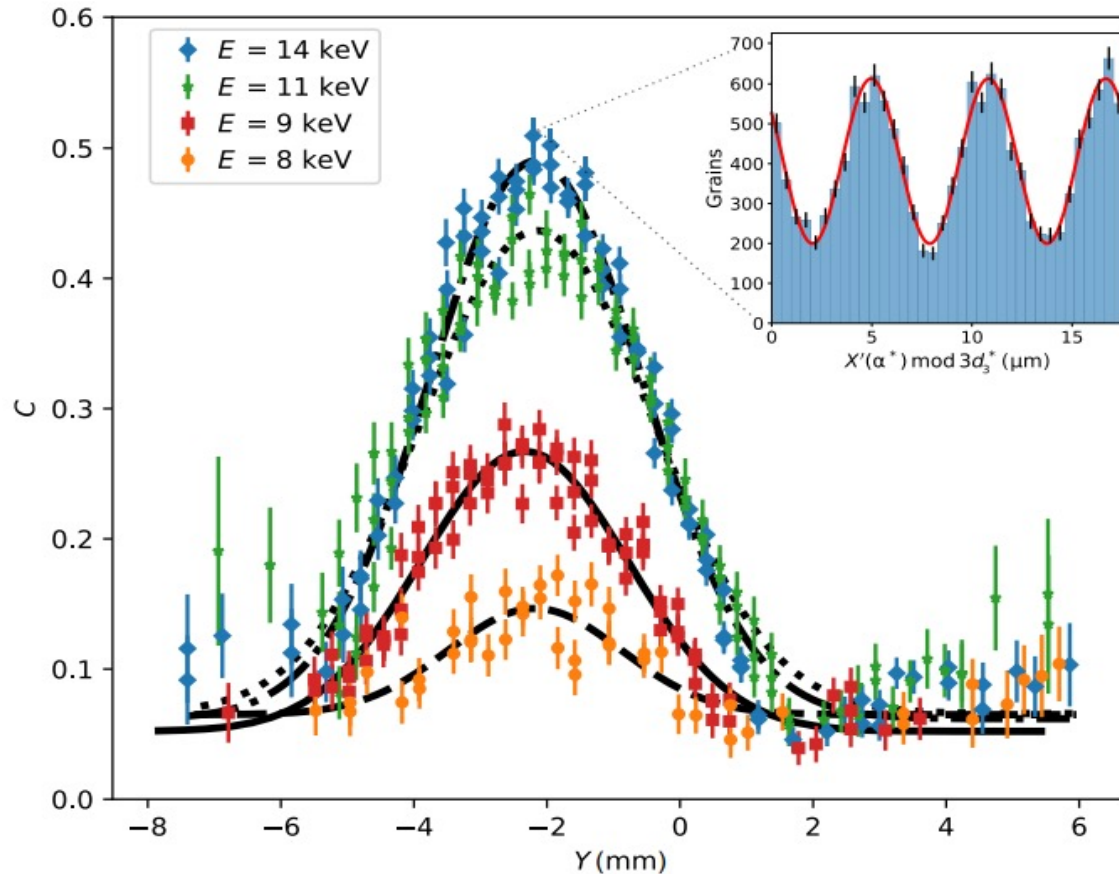
Длина волны де Бройля $\lambda \approx 500$ фм.

Скорость молекулы $v = 85$ м/с.

**Квантовая интерференционная картина при $P = 1$ Вт
молекулы $C_{284}H_{190}F_{320}N_4S_{12}$.**

Волновые свойства позитрона

(2019, Марко Джаммарки)

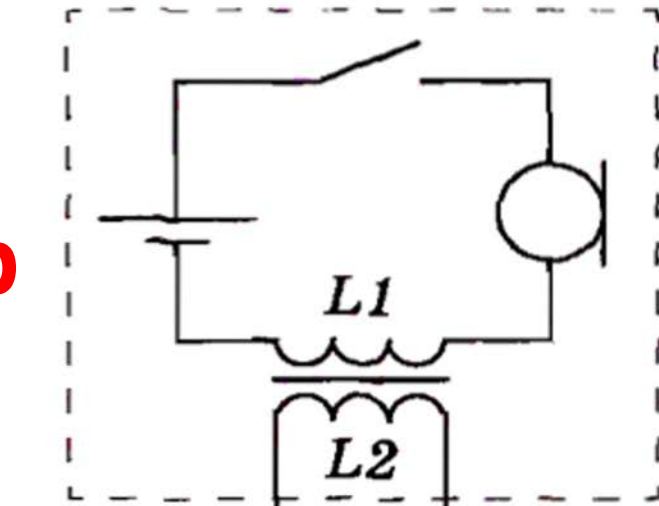


Максимальный контраст интерференционной картины наблюдался при энергии **14 кэВ**, которой соответствует длина волны $\lambda \approx 10,3$ пм.

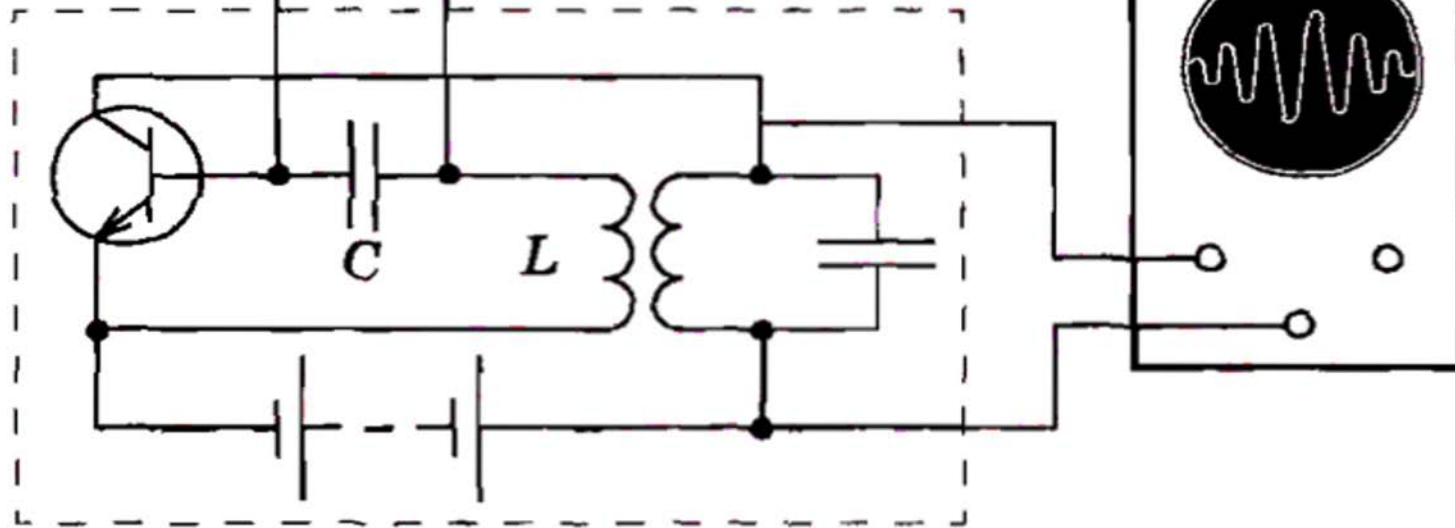
Контраст интерференционной картины в зависимости от положения оси.

Амплитудная модуляция

Модулятор



Модулированный сигнал



Генератор на транзисторе

Амплитудная модуляция

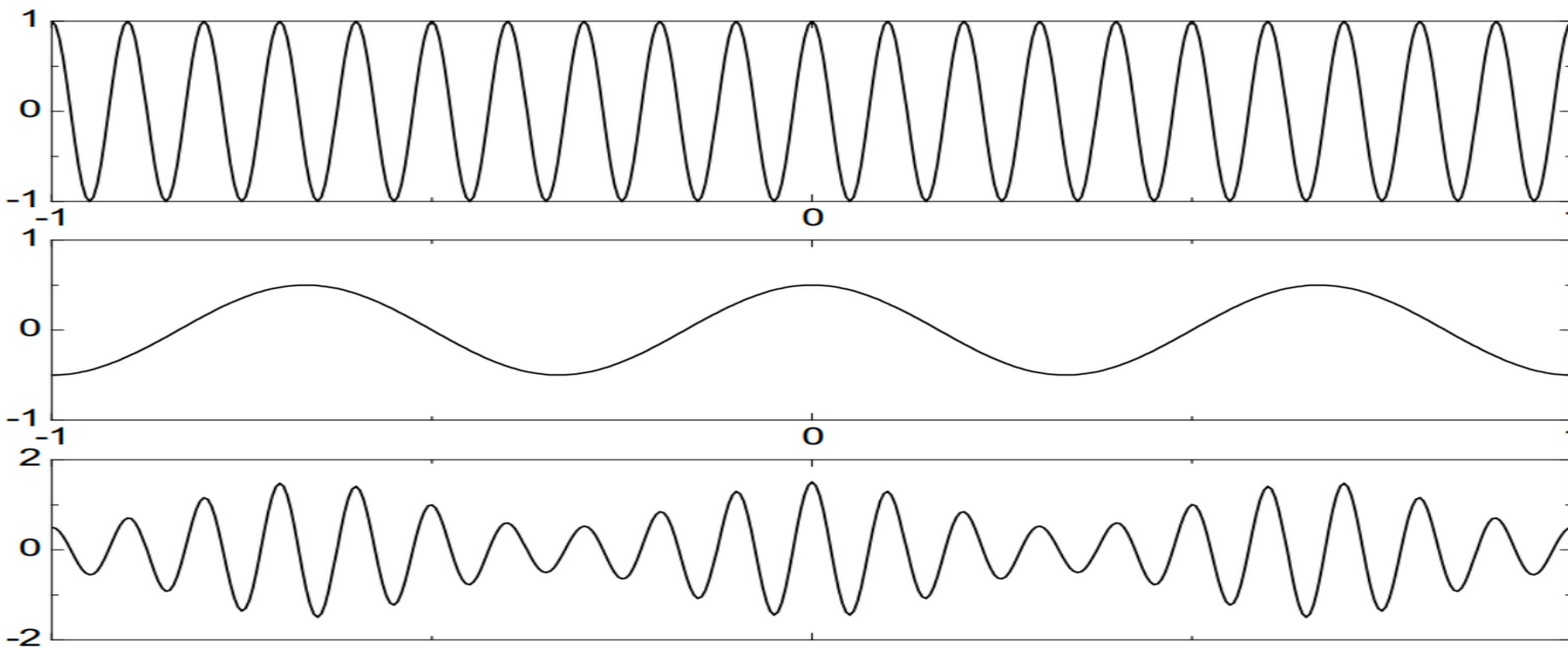
17

Модулирующий сигнал:

$$S_M(t) = A_M \cos(\Omega_0 t) \quad (10)$$

Амплитудно-модулированный сигнал:

$$S_{AM}(t) = (A_0 + A_M \cos(\Omega_0 t)) \cos(\omega_0 t) \quad (11)$$



Несущий ВЧ сигнал,
частота - ω_0

Модулирующий
сигнал, частота - Ω_0

АМ сигнал

Используя :

$$\cos\alpha \cdot \cos\beta = \frac{1}{2} (\cos(\alpha + \beta) + \cos(\alpha - \beta)),$$

18

(12)

получим

$$S_{AM}(t) = A_0(1 + m)\cos(\Omega_0 t) \cos(\omega_0 t) =$$

$$= A_0 \cos(\omega_0 t) + \frac{A_0 m}{2} \cos((\omega_0 + \Omega_0)t) + \frac{A_0 m}{2} \cos((\omega_0 - \Omega_0)t) \quad (13)$$

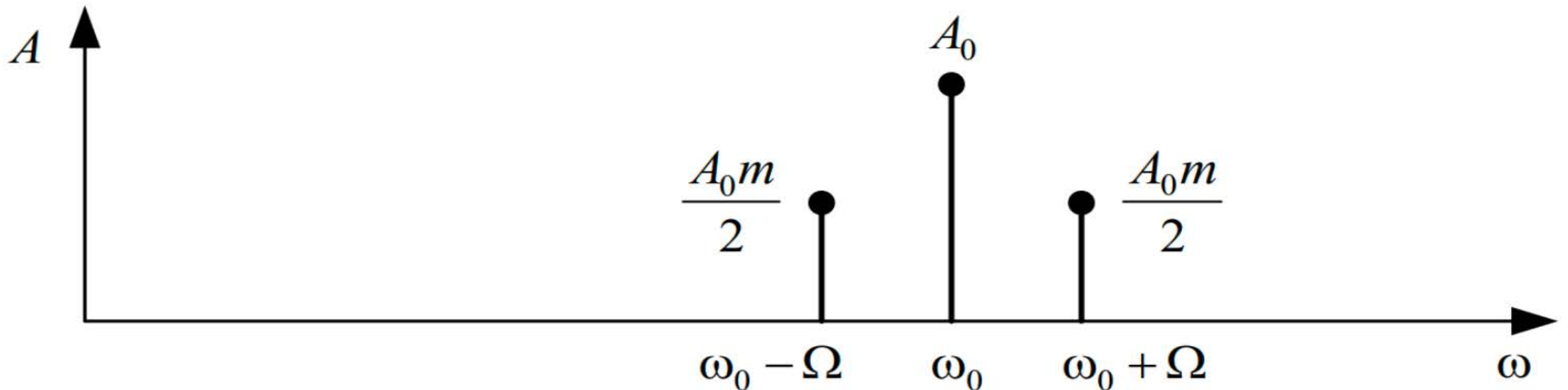


Иллюстрация механизма при малых скоростях

$$\psi = e^{-\frac{i}{\hbar}(Et - \vec{p}\vec{r})} = e^{-\frac{i}{\hbar}Et} \cdot e^{\frac{i}{\hbar}\vec{p}\vec{r}} \quad (14)$$

$$E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = m_0 c^2 \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-\frac{1}{2}} . \quad (15)$$

$$E \approx m_0 c^2 + \frac{m_0 v^2}{2} . \quad (16)$$

Имеем:

$$\begin{aligned}\psi &= e^{-\frac{i}{\hbar}\left(m_0c^2 + \frac{m_0v^2}{2}\right)t} = e^{-i\frac{m_0c^2}{\hbar}t} \cdot e^{-\frac{i}{\hbar}\frac{m_0v^2}{2}t} \\ &= e^{-\frac{ict}{\lambda_K}} \cdot e^{-\frac{i}{\hbar}\frac{m_0v^2}{2}t}.\end{aligned}\tag{17}$$

λ_K — Комптоновская длина волны частицы — параметр, определяющий погрешность локализации частицы (может выступать как характерный размер частицы).

При малых скоростях получаем:

$$\psi \approx e^{-i\omega_0 t} \cdot e^{-i(\omega_{\text{кин}} t - \vec{k}\vec{r})} \quad (18)$$

$$\omega_0 = m_0 c^2 / \hbar, \quad \omega_{\text{кин}} = m_0 v^2 / 2\hbar \quad (19)$$

Отбрасывая мнимые части, получим:

$$\psi \approx \cos(\omega_0 t) \cdot \cos(\omega_{\text{кин}} t - \vec{k}\vec{r}) \quad (20)$$

Используем:

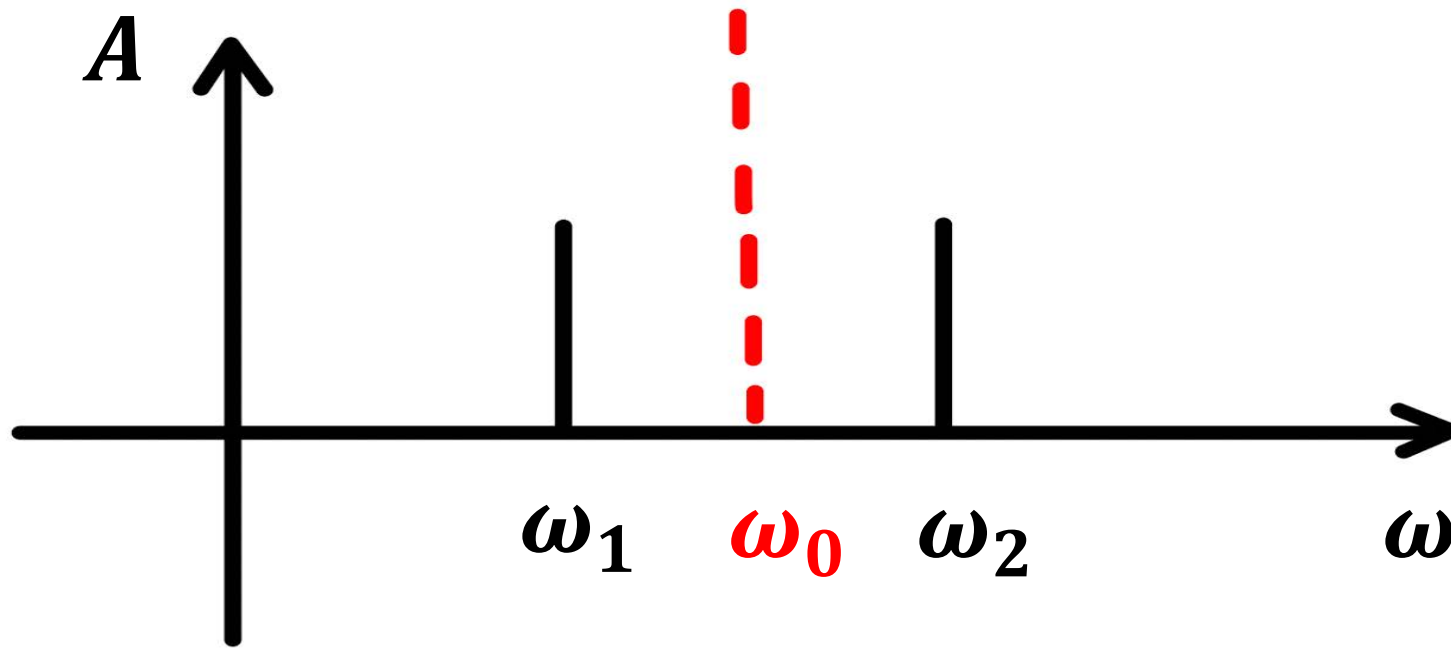
$$\cos(\alpha)\cos(\beta) = \frac{1}{2} (\cos(\alpha + \beta) + \cos(\alpha - \beta)) \quad (21)$$

Получаем расщепление:

$$\psi \approx \frac{1}{2} B [\cos(\omega_1 t - \vec{k}\vec{r}) + \cos(\omega_2 t + \vec{k}\vec{r})] \quad (22)$$

$$\omega_1 = (\omega_0 - \omega_{\text{кин}}) = \omega_0 \left(1 - \frac{v^2}{2c^2}\right)$$
$$\omega_2 = (\omega_0 + \omega_{\text{кин}}) = \omega_0 \left(1 + \frac{v^2}{2c^2}\right)$$

(23)



Расщепление спектральной линии волны де Бройля

Де Бройль в 1925 году [3] предложил механизм образования массивных частиц двумя волнами, бегущими навстречу друг к другу со скоростью света. Они образуют стоячую волну:

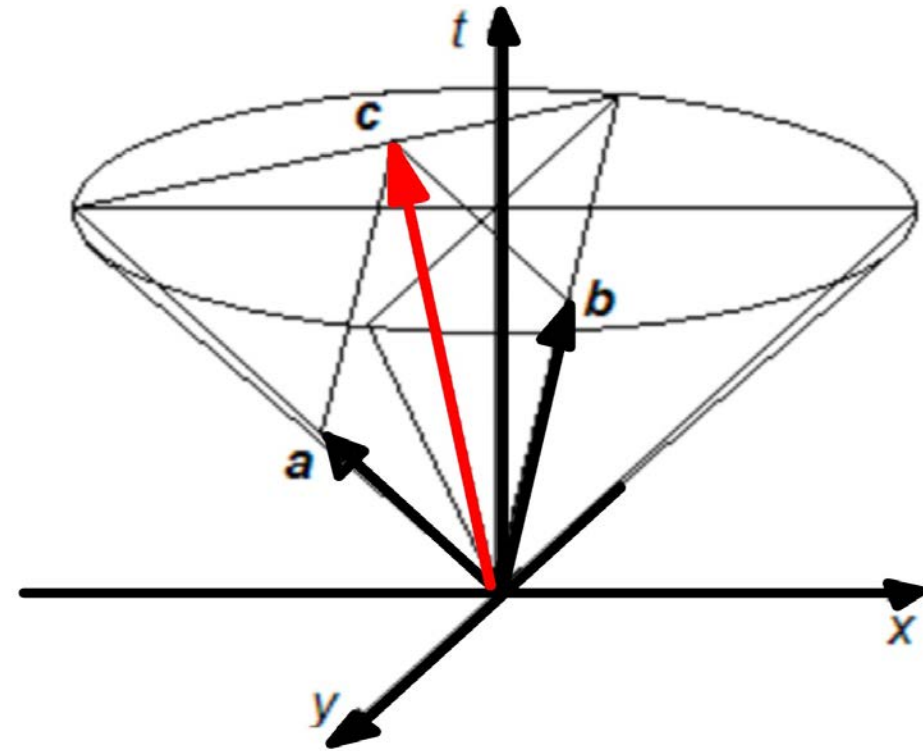
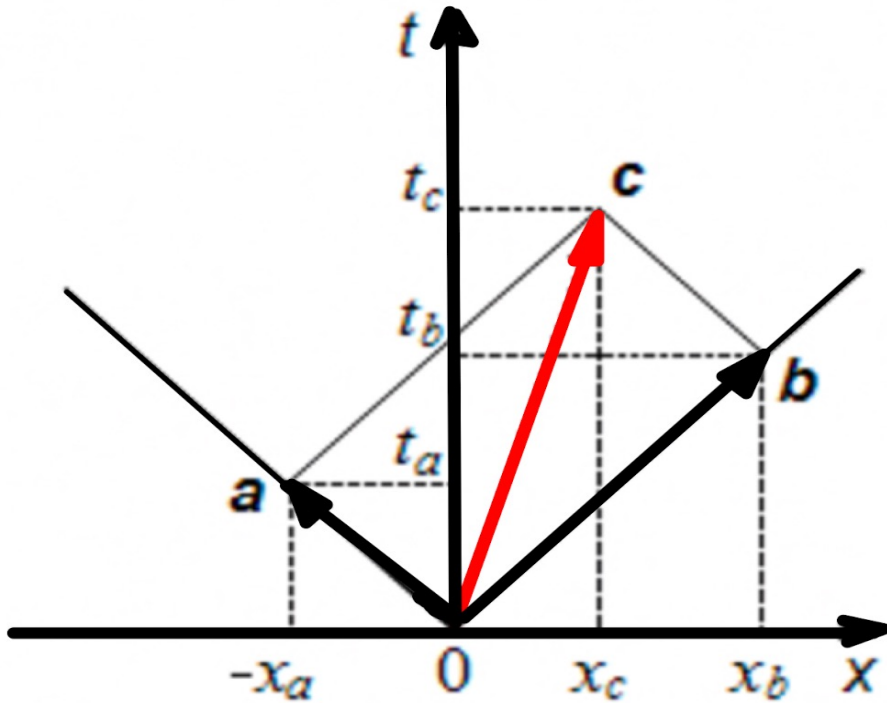
$$A_0 = \frac{K}{r} \left\{ \cos \left(2\pi\nu_0 \left(t_0 + \frac{r}{c} \right) + \alpha_0 \right) + \cos \left(2\pi\nu_0 \left(t_0 - \frac{r}{c} \right) - \alpha_0 \right) \right\}$$
$$= \frac{K}{r} \cos \left(\frac{2\pi\nu_0 r}{c} + \alpha_0 \right) \cdot \cos(2\pi\nu_0 t_0). \quad (24)$$

ν_0 - частота колебаний покоящейся массивной частицы.

Де Бройль не рассмотрел случай движущейся частицы.

Образование массивных частиц из «безмассовых» волн [3]

Изотропные вектора лежат на световом конусе и с ними можно связать 4-вектора энергии импульса частиц $(\frac{E}{c}, p_x, p_y, p_z)$.



Сумма изотропных векторов образует времениподобные внутри конуса.

Стоячая волна \equiv частица с массой

В неподвижной СО получим:

$$\cos(\omega_0 t' - k_0 x') + \cos(\omega_0 t' + k_0 x') = 2 \cos(k_0 x') \cos \omega_0 t' . \quad (25)$$

В движущейся СО частоты волн изменятся согласно эффекту Доплера:

$$\omega_1 = \omega_0 \sqrt{\frac{1 + v/c}{1 - v/c}} = \omega_0 \frac{1 + v/c}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} , \quad (25.1)$$

$$\omega_2 = \omega_0 \sqrt{\frac{1 - v/c}{1 + v/c}} = \omega_0 \frac{1 - v/c}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} . \quad (25.2)$$

В движущейся СО получим:

$$\cos(\omega_1 t - k_1 x) + \cos(\omega_2 t + k_2 x) = 2 \cos(\omega t - Kx) \cos(\Omega t - kx), \quad (26)$$

где

$$\frac{\omega_1 + \omega_2}{2} = \Omega, \quad (27)$$

$$\frac{\omega_1 - \omega_2}{2} = \omega, \quad (28).$$

$$\frac{k_1 + k_2}{2} = K, \quad (29)$$

$$\frac{k_1 - k_2}{2} = k, \quad (30)$$

$$\frac{\Omega}{k} = \frac{\omega_1 + \omega_2}{k_1 - k_2} = V > c, \quad (31)$$

$$\frac{\omega}{K} = \frac{\omega_1 - \omega_2}{k_1 + k_2} = v < c. \quad (32)$$

Произведение косинусов представим в виде суммы встречных волн с **новыми частотами и новыми волновыми векторами**:

$$2 \cos(\omega t - Kx) \cos(\Omega t - kx) =$$

$$\cos((\omega - \Omega)t - (K - k)x) + \cos((\omega + \Omega)t - (K + k)x). \quad (33)$$

Появление $\pm\Omega$ можно интерпретировать как возникновение **боковых частот**.

Сложение волн (33) можно интерпретировать следующим образом. Есть суперпозиция двух волн, представляющих собой произведение двух сомножителей – **высокочастотного** (Ω), распространяющегося со скоростью большей скорости света V – волна де Бройля, и **низкочастотного** (ω), распространяющегося со скоростью v меньшей скорости света – «энергетическая» волна. Амплитуда колебаний $|2 \cos(\omega t - Kx)|$ перемещается в пространстве и изменяется во времени. Получаем высокочастотную волну промодулированную самим движением частицы.

1. При малых скоростях имеем:

$$\omega_1 = \omega_0 \left(1 + \frac{v}{c}\right), \quad \omega_2 = \omega_0 \left(1 - \frac{v}{c}\right).$$

Здесь $\omega_0 = \frac{m_0 c^2}{\hbar}$ - несущая частота частицы с массой m_0 .

2. Возможно наблюдение триплета частот $\omega_1, \omega_2, \omega_0$, генерируемых **одиночным** электроном.

3. Волну с частотой Ω будем называть – волной де Бройля, волной-пилотом, информационной волной, как это принято делать по отношению к волне де Бройля.

4. Волну с частотой ω будем называть – групповой волной, энергетической волной, волной-переносчиком энергии.

- 1.** На роль волны де Бройля может подходить один из четырех типов фундаментальных взаимодействий – **гравитационное, слабое, сильное, электромагнитное.**
- 2.** Волна де Бройля может быть связана с неким **генератором массы**, который у каждой частицы свой.
- 3.** Волна де Бройля может иметь **связь со средой**, в которой распространяется – физическим вакуумом и представлять из себя продольные волны в данной среде, вызванные периодическим процессом, происходящим внутри частицы.

Продольные ЭМ волны в вакууме

31

(Самсоненко Н. В., 1977)

Уравнения Максвелла в форме уравнения Дирака:

$$i \left(\frac{\partial}{\partial x_0} - \alpha^k \frac{\partial}{\partial x_k} \right) \psi = 0,$$

$$\psi = \begin{Bmatrix} \vec{H} + i\vec{E} \\ i(\mathcal{H} + i\mathcal{E}) \end{Bmatrix}$$

Введены **дополнительные**
скалярные поля \mathcal{E} , \mathcal{H}

Любой вектор можно разложить на сумму продольных и поперечных векторов:

$$\vec{A} = \vec{A}_{\perp} + \vec{A}_{\parallel}$$

$$\begin{aligned} \text{rot} A_{\perp} &\neq 0, & \text{div} A_{\perp} &= 0 \\ \text{rot} \vec{A}_{\parallel} &= 0, & \text{div} \vec{A}_{\parallel} &\neq 0 \end{aligned}$$

Для продольных полей в вакууме:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{\partial \vec{E}_{\parallel}}{\partial t} &= \vec{\nabla} \varepsilon \\ \text{div} \vec{E}_{\parallel} &= \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} \end{aligned} \right. \rightarrow \left\{ \begin{aligned} \square \vec{E}_{\parallel} &= 0 \\ \square \varepsilon &= 0 \end{aligned} \right. \left\{ \begin{aligned} \frac{\partial \vec{H}_{\parallel}}{\partial t} &= \vec{\nabla} \mathcal{H} \\ \text{div} \vec{H}_{\parallel} &= \frac{\partial \mathcal{H}}{\partial t} \end{aligned} \right. \rightarrow \left\{ \begin{aligned} \square \vec{H}_{\parallel} &= 0 \\ \square \mathcal{H} &= 0 \end{aligned} \right.$$

$\vec{E}_{\parallel}, \vec{H}_{\parallel}$ - возможные кандидаты на роль волны де Бройля

Заключение:

33

1. При движении частицы с массой возникает эффект модуляции несущей частоты $\omega_0 = \frac{m_0 c^2}{h}$ импульсом частицы.

2. При движении частота ω_0 расщепляется на триплет частот и появляются боковые частоты ω_1 и ω_2 , зависящие от скорости.

3. Частицу с массой можно рассматривать как стоячую волну, образованную двумя «**безмассовыми**» волнами, движущимися со скоростью света в любой системе отсчета.

4. Наблюдаемый эффект Доплера при движении частицы можно интерпретировать как эффект модуляции частоты частицы её импульсом.

5. Новое понимание корпускулярно-волнового дуализма (КВД)

В Копенгагенской интерпретации суть КВД[1]:

Частица = корпускула либо волна (**никогда вместе**)

В де-Бройлевской интерпретации суть КВД[1]:

Частица = корпускула + волна (**всегда вместе**)

В рассмотренном механизме суть КВД:

Частица \equiv сама волна (стоячая)

При движении возникает волна де Бройля.

Литература

- [1]. **Louis de Broglie**. Recherches sur la théorie des quanta. – Ann. De Physique. Série X. 1924. 3. P. 22.
- [2]. **Louis de Broglie** Sur la frequence propre de l'electron. – Compt. Rend. 1925. 180. P.498.
- [3]. **Goryunov A. V.** Walking Wave as a Model of Particle //arXiv preprint arXiv:1006.0016. – 2010
- [4]. **Н. В. Самсоненко**. Интерпретация квантовой механики 100 лет спустя после её создания. Метафизика, 2018, №2 (28), стр. 59-62
- [5]. **P I Vysikaylo, N V Samsonenko and M V Semin** . (2020). De Broglie wave in vacuum, matter and nanostructures. Journal of Physics: Conference Series. 1560. 012006. 10.1088/1742-6596/1560/1/012006.
- [6]. **Н. В. Самсоненко**. К проблеме уравнений Максвелла в спинорной форме. Сб. «Проблемы квантовой физики», М., УДН, 1977, стр. 23-28.
- [7]. **Л. Биберман, Н. Сушкин, В. Фабрикант** Дифракция поочередно летящих электронов ДАН СССР, Том LXVI, №2, 1949
- [8]. **Самсоненко Н. В., Сёмин М. В.** Необычные свойства волн де Бройля. Основания фундаментальной физики и математики. Материалы 6-й Российской конференции, Москва, РУДН, 10-11 декабря 2021 г., М., РУДН, с. 143 – 174.
- [9]. **Самсоненко Н. В., Ндахайо Ф., Усман Манга Адаму**. О выборе динамических переменных в квантовой теории. Материалы Межд. Конф. «Эйлеровы чтения -МГОУ 2017», г. Москва 14-18 ноября 2017 г. М. : МГОУ, 2018, с. 117 – 124 (ISBN: 978-5-6040521), eLibrary ID: 35457358
- [10]. **Самсоненко Н. В., Сёмин М. В.** Волна де Бройля как амплитудно-модулированный сигнал. Основания фундаментальной физики и математики. Материалы 6-й Российской конференции, Москва, РУДН, 9-10 декабря 2022 г., М., РУДН, с. 143 – 174.

Спасибо за внимание