

Рассеяние частиц на N -щелевом экране: ковры Талбота и дифракция в дальней зоне

В.И. Сбитнев¹

(Получена 8 января 2009; опубликована 15 января 2009)

Рассматривается рассеяние Гауссова волнового пакета на экране, включающего N параллельных щелей. Показывается, что в ближней зоне, зоне Френеля, формируются вполне упорядоченные интерференционные паттерны волновой активности - ковры Талбота. В дальней зоне, зоне Фраунгофера, формируется типичная дифракционная картина, где между главными максимумами располагается $(N - 2)$ побочных максимумов.

Начнем с интересного поста Пипы (это ник), помещенного на сайте Квантовый Портал (см. в конце статьи¹) или по ссылке:

http://quantmag.ppole.ru/index.php?option=com_smf&Itemid=34&topic=287.msg9215#msg9215

Введение

Вышеприведенный пост ясно подчеркивает, что при анализе явлений интерференции волн на щелях, следует принимать во внимание, как размеры щелей, так и расстояния между ними. Так как интерференция – это результат сложения волн, все расстояния желательно выражать в масштабах длины волны l . Так, например, при создании узконаправленного радиоизлучения *полуволновые вибраторы* собираются в упорядоченные решетки, с расстояниями между вибраторами, кратными длине волны радиоизлучения

$$\mathbf{L} \quad \overbrace{\leftarrow l/4 \rightarrow}^{\mathbf{644474448}} \parallel \leftarrow l/4 \rightarrow \leftarrow \mathbf{L} \quad l/2 \quad \mathbf{L} \rightarrow \leftarrow l/4 \rightarrow \parallel \leftarrow l/4 \rightarrow \mathbf{L} .$$

В данном условном рисунке N полуволновых вибраторов располагаются друг от друга на расстоянии, равной длине волны $l = l/2 + (l/4) \cdot 2$. В этом случае, результирующее излучение данной решетки будет складываться из суммы излучений всех вибраторов, эквидистантно разнесенных на длину волны l . В результате будет сформировано узконаправленное излучение с полушириной главного излучающего лепестка порядка $1/N$. Если начать разносить вибраторы на расстояния превышающие l , влияние вибраторов друг на друга начнет ослабевать. Интерференционная картина начнет разрушаться, и желаемый узконаправленный интерференционный паттерн получен не будет.

В данной работе будем моделировать рассеивание нейтронов N -щелевом экране. Нейтроны – частицы, не имеющие заряда, а, следовательно, они не взаимодействуют с электрическим полем. Расстояние между ближайшими щелями равно длине волны, а длина волны нейтрона пусть будет $l = 50 \text{ nm}$. Эта длина волны отвечает ультрахолодным нейтронам. Скорость такого нейтрона, $v_z = 2p\hbar / m_n l$, равна 7.9 m/sec , а температура $T = E_z / k_B \approx 0.0038 \text{ K}$ [1]. Здесь $m_n \approx 1.675 \times 10^{-27} \text{ kg}$ - масса нейтрона, \hbar и k_B - постоянные Планка и Больцмана, соответственно.

¹ Valery.sbitnev@gmail.com, Санкт-Петербургский Институт Ядерной Физики, РАН.

Рассеяние ультрахолодных нейтронов на N -щелевом экране

При моделировании интерференции на N -щелевом экране, выберем волновую функцию с Гауссовым законом распределения [2], [3]. Такая функция со временем размывается из-за различия в скоростях плоских волн, суперпозиция которых представляет данный волновой пакет. Пакет, описывающий нормальное распределение частиц при излучении от k -той щели, представляется функцией:

$$|\Psi_k(x-kd, z)\rangle = \left(\frac{1}{2p\mathcal{S}_0^2}\right)^{1/4} \exp\left\{-\frac{(x-kd)^2}{4s_0\mathcal{S}_0} + i\frac{p_z}{\hbar}z - i\frac{E_z}{\hbar}t\right\}. \quad (1)$$

Координата x направлена вдоль экрана, а z направлена поперек экрана, смотри Рис. 1.

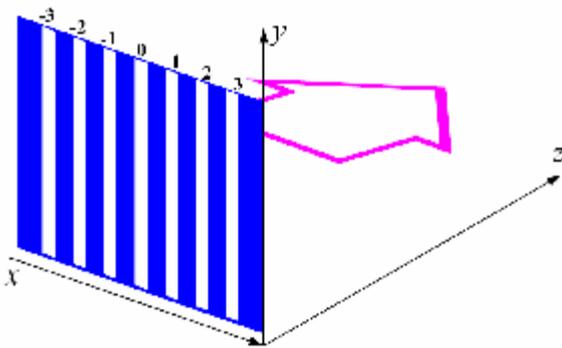


Рисунок 1

Схема интерференционного эксперимента. Стрелка указывает направление распространения волны. Семь щелей, пронумерованные в порядке -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, протраассированы вдоль оси x . По этой причине задача может рассматриваться в двумерной геометрии – в плоскости (x, z) .

Индекс k относится к нумерации щелей, а d - период щелевой решетки. Мы принимаем здесь $d = l$. Волна распространяется вдоль оси z со скоростью $v_z = p_z / m_n$. Поскольку $z = v_z t$, то в аргументе волновой функции $|\Psi_k(x-kd, z)\rangle$ решено не включать t .

Параметры s_0 и \mathcal{S}_0 относятся к размыванию пакета во времени. При этом \mathcal{S}_0 является времени зависимым комплексным значением этого размывания [3]

$$\mathcal{S}_0 = s_0 \left(1 + i\frac{\hbar t}{2m_n s_0^2}\right), \quad (2)$$

а s_0 - его начальное значение. В данной симуляции будем принимать $s_0 = 0.8 \text{ nm}$. В начальный момент $t = 0$ волновая функция (1) представляет Гауссов пакет с дисперсией $s_0\mathcal{S}_0 = s_0^2$. Волновая функция, представленная суперпозицией плоских волн, подвергается прямому (при $t = 0$) а затем обратному (возвращает $t > 0$) Фурье преобразованиям. В результате данных манипуляций находится комплексный множитель \mathcal{S}_0 [2].

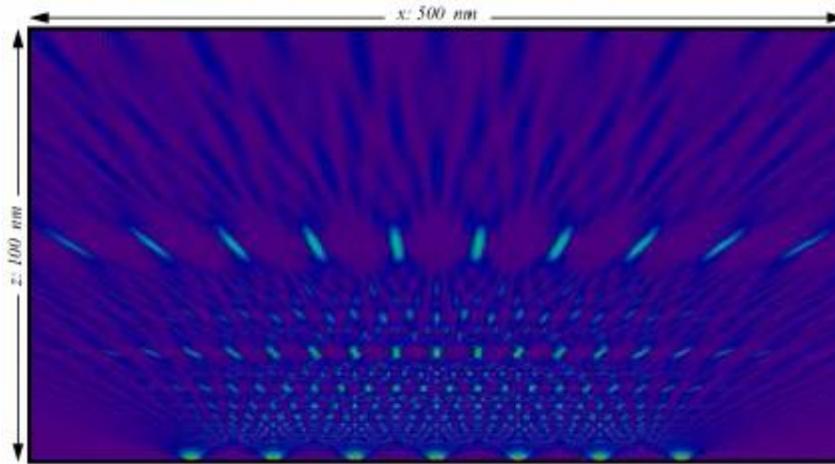


Рисунок 2

Интенсивность $I(x, z)$, представляющая результат 7-щелевой интерференции: ковер Талбота в ближней зоне (зона Френеля).
 $l = 50 \text{ nm}$, $s_0 = 0.8 \text{ nm}$.

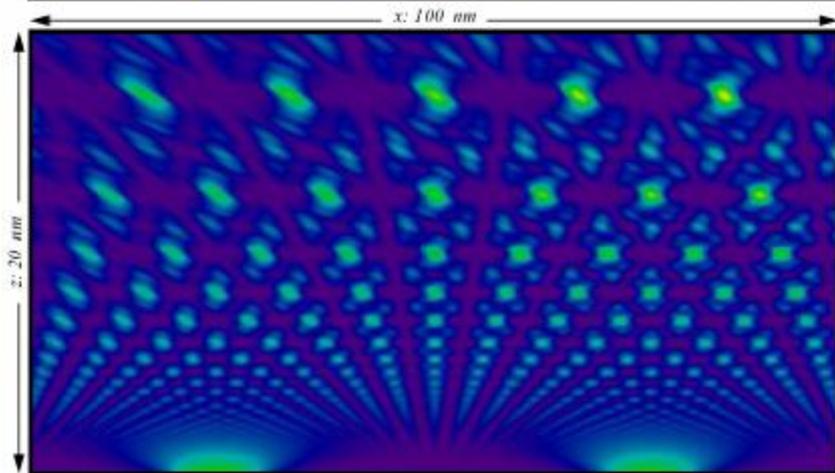


Рисунок 3

Само-подобие на ковре Талбота в окрестности щелевых источников.
 $l = 50 \text{ nm}$, $s_0 = 0.8 \text{ nm}$.

При рассеянии на экране, содержащего $N = (2K + 1)$ щелей, $K = 3$, каждая щель представляется как источник излучения частиц, описываемый одной и той же волновой функцией (1). Чтобы получить результирующий эффект, на выходе щелей следует просуммировать вклады от всех этих источников ($k = -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3$)

$$|\Psi(x, z)\rangle = \sum_{k=-K}^K |\Psi_k(x - kd, z)\rangle \quad (3)$$

Вот момент истины - принцип суперпозиции волновых функций - складываются амплитуды вероятностей, но не сами вероятности, как это проделывается в теории вероятностей в случае независимых испытаний. Измеряемой величиной, однако, является интенсивность на детекторе, помещенного в точке (x, z) :

$$I(x, z) = \langle \Psi(x, z) | \Psi(x, z) \rangle. \quad (4)$$

Нормированная на единицу, эта величина представляет плотность вероятности обнаружения частицы в окрестности точки (x, z) .

На Рисунках 2, 3, 4 и 5 показано распределение интенсивности $I(x, z)$ в плоскости (x, z) . Следует обратить внимание на трансформации интерференционного паттерна по мере того, как происходит переход от ближней зоны в дальнюю. Рисунок 2 показывает интерференционный паттерн, формирующийся в ближней зоне – зоне Френеля. Такой паттерн называется ковром Талбота. Впервые подобный ковер наблюдал Генри Фокс

Талбот в 1836 году при изучении интерференции света в ближней зоне [4]. Интересно обратить внимание, что вблизи щелей наблюдается само-подобие.

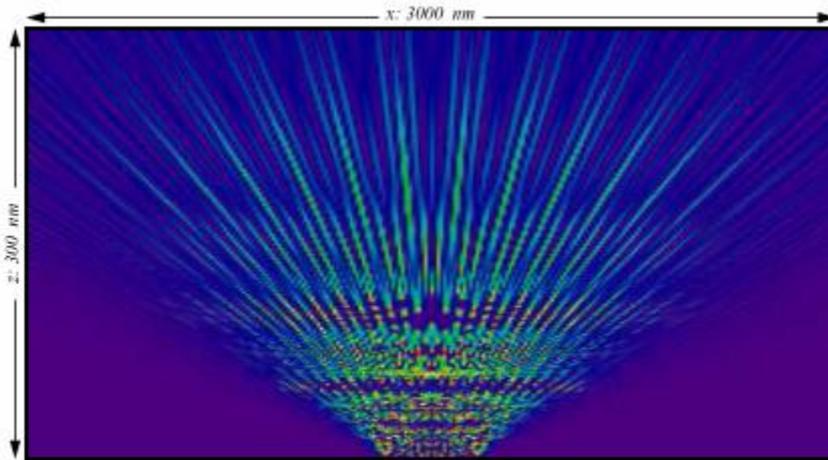


Рисунок 4

7-щелевая интерференция. Переход от ближней зоны (зона Френеля) к дальней зоне (зона Фраунгофера). $I = 50 \text{ nm}$, $s_0 = 0.8 \text{ nm}$.

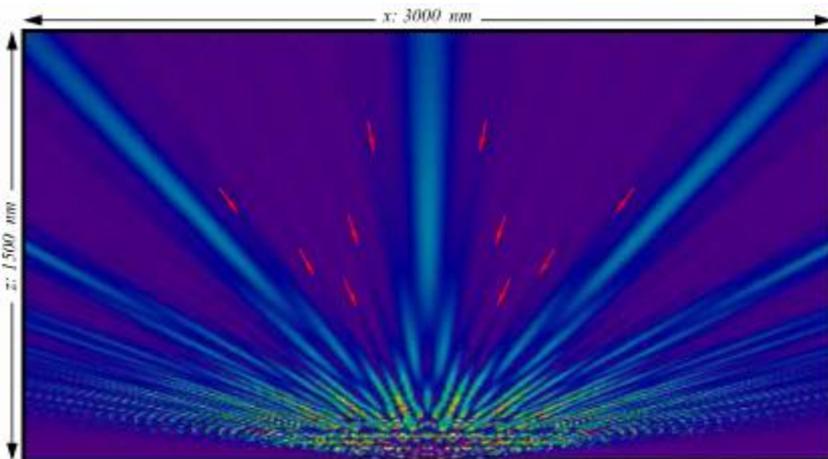


Рисунок 5

Дифракция в дальней зоне - зоне Фраунгофера. Красные стрелки, с каждой стороны главного максимума, указывают на пять лучей, формирующих побочные максимумы. Для лучшего восприятия здесь понижен порог чувствительности. $I = 50 \text{ nm}$, $s_0 = 0.8 \text{ nm}$.

Увеличенный фрагмент такого само-подобия показан на Рисунке 3. Поразительным при этом является то, что длина волны $I = 50 \text{ nm}$ значительно превышает элементы, из которых составлен этот само-подобный паттерн.

Рисунки 4 и 5 показывают эволюцию интерференционных паттернов в области перехода от ближней зоны к дальней зоне. Прежде всего можно видеть, что какой-либо намек на фрактальность интерференционного паттерна исчезает. Вместо этого, мы ясно различаем формирование нескольких выделенных лучей (главные лучи), разделенных слабыми вспомогательными лучами, Рис. 5. Эти вспомогательные лучи на рисунке указаны красными стрелками. По сути, мы наблюдаем формирование дифракционного паттерна в дальней зоне - зоне Фраунгофера. Результат показан на Рисунках 6 и 7.

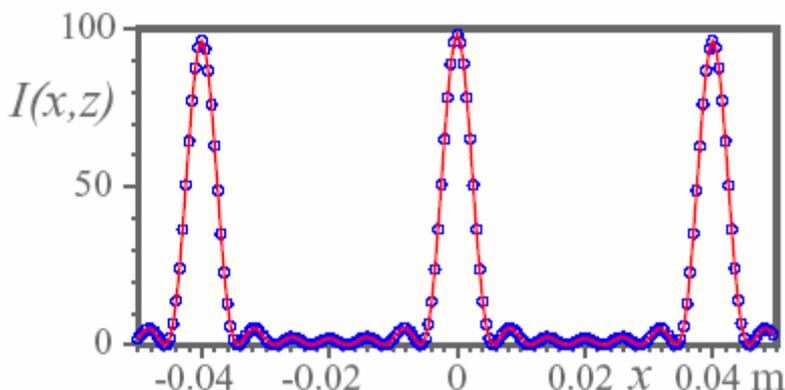


Рисунок 6

Дифракция в дальней зоне, длина волны $I = 50 \text{ nm}$. Красная кривая рисует интенсивность (4). Синие кружки представляют функцию (5), аппроксимирующую данную интенсивность. Дистанция до регистрирующего детектора $z = 0.04 \text{ m}$.

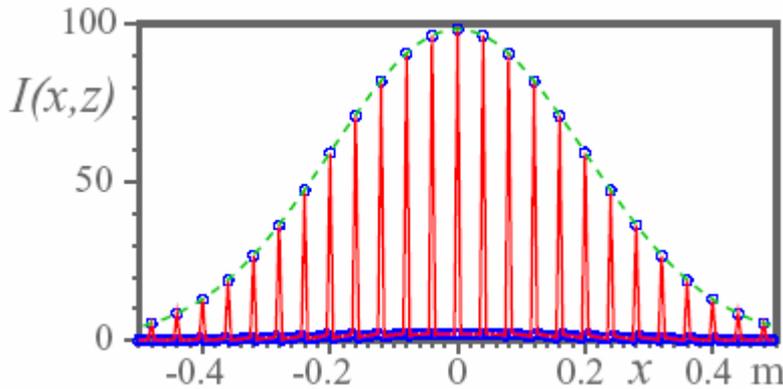


Рисунок 7

Дифракционный паттерн при более широком охвате. Красная кривая рисует интенсивность (4). Синие кружки представляют функцию (5). Огибающая кривая нарисована зеленой пунктирной линией. Ей отвечает функция (6).

В дальней зоне, $z = v_z t \gg 100 \text{ nm}$, интенсивность на детекторе $I(x, z)$ может быть аппроксимирована дифракционной формулой

$$I(x, t) \approx I_0(x, t) \cdot \frac{\sin^2\left(\frac{NV(x, t)}{2}\right)}{\sin^2\left(\frac{V(x, t)}{2}\right)}, \quad (5)$$

где

$$I_0(x, t) = \sqrt{\frac{2}{p}} \cdot \frac{m_n s_0}{\sqrt{4m_n^2 s_0^4 + \hbar^2 t^2}} \exp\left\{-\frac{2m_n^2 s_0^2 x^2}{4m_n^2 s_0^4 + \hbar^2 t^2}\right\} \quad (6)$$

и

$$V(x, t) = x d \frac{m_n \hbar t}{4m_n^2 s_0^4 + \hbar^2 t^2}. \quad (7)$$

Здесь и далее в этих формулах мы принимаем $t = z / v_z$. Знаменатель $4m_n^2 s_0^4 + \hbar^2 t^2$ в этих формулах следует из мгновенной ширины [3], [5] Гауссового размывания (2)

$$|S_0| = s_0 \sqrt{1 + \frac{\hbar^2 t^2}{4m_n^2 s_0^4}} = \frac{1}{2m_n s_0} \sqrt{4m_n^2 s_0^4 + \hbar^2 t^2}. \quad (8)$$

Дифракционная функция (5) изображена на Рисунках 6 и 7 синими кружками. Зеленой пунктирной линией на Рис. 7 нарисована также огибающая кривая $7^2 I_0(x, t)$. Множитель 7^2 следует непосредственно из дифракционной формулы (5). А именно, при $V \rightarrow 0$ мы обнаруживаем предел $I(0, t) = I_0(0, t) \cdot N^2$.

Давайте на порядок уменьшим длину волны. Пусть $I = 5 \text{ nm}$ при той же самой величине начального размывания $s_0 = 0.8 \text{ nm}$. При уменьшении длины волна, увеличивается скорость частицы, а следовательно и ее кинетическая энергия. Отсюда следует, что прохождение частиц через экран будет более энергичным. Пусть период решетки будет $d = I$. Результаты прохождения через 7-щелевой экран показаны на Рисунках 8 и 9.

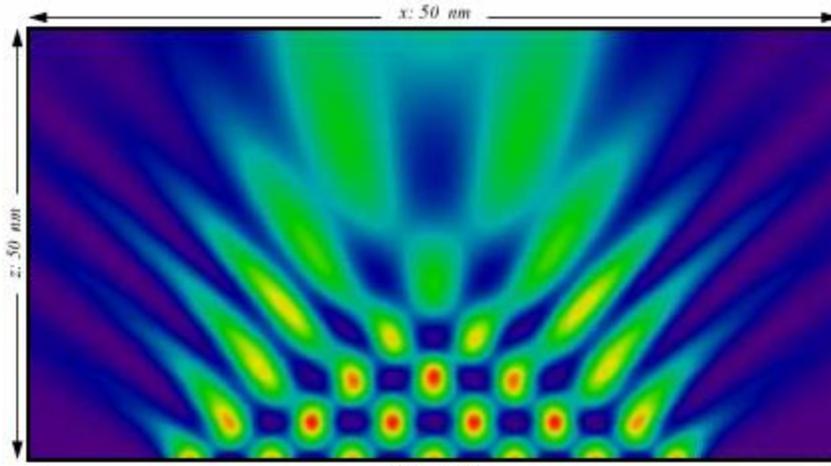


Рисунок 8

Величина $I(x, z)$, представляющая результат 7-щелевой интерференции: ковер Талбота в ближней зоне (зона Френеля).
 $I = 5 \text{ nm}$, $s_0 = 0.8 \text{ nm}$.

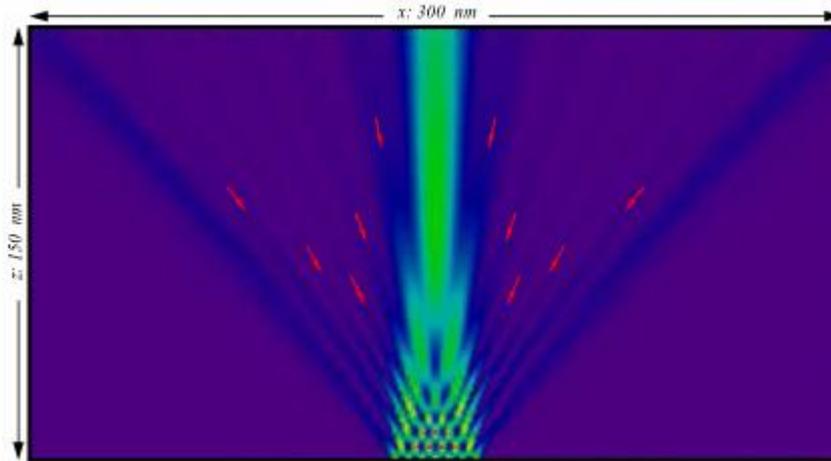


Рисунок 9

Дифракция в дальней зоне - зоне Фраунгофера. Красные стрелки, с каждой стороны главного максимума, указывают на пять лучей, формирующих побочные максимумы. Для лучшего восприятия здесь понижен порог чувствительности.
 $I = 5 \text{ nm}$, $s_0 = 0.8 \text{ nm}$.

Рисунок 8 показывает ковер Талбота, формирующийся в ближней зоне. Можно видеть, этот ковер качественно отличается от показанного на Рис. 2. Хорошо организованные в шахматном порядке ячейки размазываются на краях. Организация этого ковра Талбота есть такая же, как описанная в статье Санза и Мирет-Артеса [3]. Сам ковер похож на пирамиду, с рассеиваемыми по левую и правую стороны лучами. Мощный луч проходит в прямом направлении, см. Рис. 9. А два более слабых боковых луча отделены от основного пятью вторичными лучами, указанными на Рис. 9 красными стрелками.

По сути, Рисунок 9 показывает переход в дальнюю зону. И здесь также можно обнаружить формирование дифракционной картины, описываемой формулой (5). Такая картина показана на Рисунке 10. Можно видеть, что интенсивность $I(x, z)$ в дальней зоне, $z = 4.316 \times 10^6 \text{ nm}$, прекрасно аппроксимируется функциями (5) и (6).

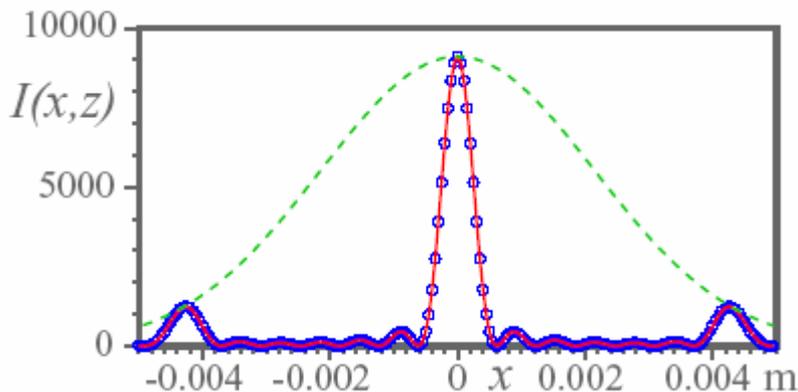


Рисунок 10

Интенсивность (4), красная кривая, для случая $I = 5 \text{ nm}$, $s_0 = 0.8 \text{ nm}$. Синие кружки на этом графике вычислены по формуле (5). Зеленая пунктирная кривая представлена функцией (6), дополнительно помноженной на фактор 7^2 .

Два главных латеральных максимума, как видно, сильно подавлены. Только главный максимум, расположенный в центре, является большим. Эти максимумы отделены друг от друга пятью побочными максимумами, указанными на Рис. 9 красными стрелками.

Ковер Талбота в представлении траекторий Бома

Представим волновую функцию (3) в форме [6]

$$|\Psi(x, z)\rangle = \exp\{i J / \hbar - S_Q\}. \quad (9)$$

Отсюда находим действие

$$J(x, z) = \hbar \operatorname{Im}(\ln(|\Psi(x, z)\rangle)). \quad (10)$$

Следующим шагом является вычисление поля скоростей [4], согласно формуле

$$\mathbf{v}(\mathbf{r}, t) = \frac{d\mathbf{r}}{dt} = \frac{1}{m_n} \nabla J(\mathbf{r}, t) = \frac{\hbar}{m_n} \operatorname{Im} \left[\frac{\nabla |\Psi(\mathbf{r}, t)\rangle}{|\Psi(\mathbf{r}, t)\rangle} \right]. \quad (11)$$

Здесь временно подменены переменные (x, z) на (\mathbf{r}, t) , чтобы подчеркнуть общность данной формулы. Только поперечная компонента скорости

$$v_x = \frac{\hbar}{m_n} \operatorname{Im} \left(\frac{\sum_{k=-K}^K \frac{(x-kd)}{2S_0 S_Q} |\Psi_k(x-kd, z)\rangle}{\sum_{k=-K}^K |\Psi_k(x-kd, z)\rangle} \right) \quad (12)$$

модифицируемая комплексным времени зависимым параметром размывания S_Q , см. представление (2), определяет поперечные сдвиги Бомовских траекторий. Продольная компонента v_z , будем полагать, является неизменной, определяемой длиной волны частицы (нейтрона)

$$v_z = \frac{2p\hbar}{m_n l}. \quad (13)$$

Здесь мы рассмотрим только второй случай $l = 5 \text{ nm}$, $S_0 = 0.8 \text{ nm}$, т.е. случай появления упорядоченного ковра Талбота, см. Рис. 8. В этом случае $v_z = 79.12 \text{ m/sec}$.

Координаты Бомовских траекторий вычисляются по следующим формулам

$$\begin{aligned} z(t+dt) &= z(t) + v_z dt, \\ x(t+dt) &= x(t) + v_x dt, \end{aligned} \quad (14)$$

с шагом dt меньшим, чем $2m_n S_0^2 / \hbar \approx 2 \times 10^{-11} \text{ sec}$. В начальный момент $z(0) = 0$, а $x(0)$ может принимать любые значения в интервале от -16.67 nm до $+16.67 \text{ nm}$. Ансамбль траекторий, вычисленный при $dt = 10^{-13} \text{ sec}$, показан на Рисунке 11. Можно видеть, что он качественно хорошо воспроизводит паттерн Талбота, показанный на Рисунке 8.

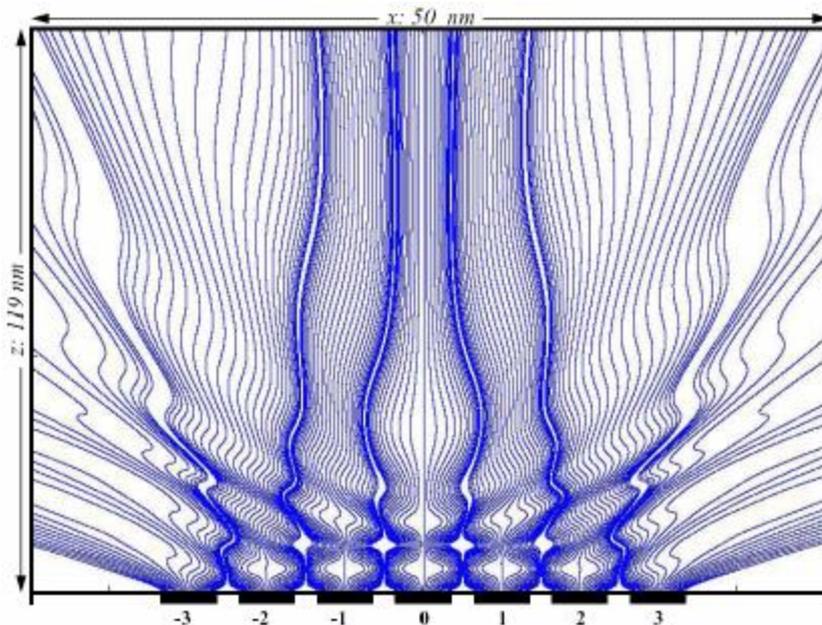


Рисунок 11

Траектории Бомы проходят через щели, $k = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3$, и расходятся по мере того, как удаляются от экрана $z \leq 119 \text{ nm}$, $x \in (-25, +25) \text{ nm}$
 $l = 5 \text{ nm}$, $s_0 = 0.8 \text{ nm}$,
 $dt = 10^{-13} \text{ sec}$. Хорошо различим узор Талбота, сравни с узором на Рис. 8. Вычисления выполнены с помощью Mathcad.

Приехали

Бомовские траектории, показанные на Рис. 11, представляются как набор геодезических траекторий [7]. Эти траектории подчиняются принципу наименьшего действия, который следует из процедуры минимизации интеграла комплексного действия. Давайте представим теперь, что частицы проходят через 7-щелевой экран поштучно. Так что, для набора удовлетворительной статистики потребуется затратить достаточное количество времен, выстреливая шаг за шагом частицы на этот щелевой экран. В результате такого утомительного эксперимента мы обнаружим тот же самый интерференционный паттерн, предсказываемый теорией. Возникает вопрос, будет ли каждая единичная частица, брошенная на 7-щелевой экран, двигаться по какой-нибудь траектории, предсказанной согласно принципу наименьшего действия? Ответ будет - нет. В отличие от классической частицы, которая на самом деле будет двигаться по одной и только одной оптимальной траектории, квантовая частица зондирует все выходящие из всех семи щелей траектории скопом. Говорят, квантовая частица пребывает в делокализованном состоянии. Таким образом, Бомовская траектория, изображенная в окрестности регистрирующего прибора, отображает тенденцию движения частицы и оценивается по результатам возможного зондажа всех щелей. Факт регистрации частицы заканчивается тем, что все остальные траектории аннулируются.

Формула (12), вычисляющая поперечную скорость v_x , содержит суммирование вкладов от всех щелей. На самом деле, чтобы найти каждую отдельно взятую траекторию, показанную на Рис. 11, нам следует суммировать волновые поля, излучаемые от всех щелей. Отсюда можно заключить, что волновая функция является первичным объектом, определяющим состояния квантово-механической системы. Это полностью согласуется с Копенгагенской интерпретацией квантовой механики. Согласно этой интерпретации, волновая функция представляет нечто большее, чем математическая абстракция [8]. Все версии Копенгагенской интерпретации включают формально или методологически факт коллапса волновой функции в момент регистрации частиц - факт взаимодействия частицы с измерительным прибором определяется величиной плотности вероятности волновой функции в окрестности прибора, но не сознанием или желаниями наблюдателя. Это наблюдение подчеркнуто Пипой в посту, цитированном в водной части статьи: *Само взаимодействие есть результат редукции волнового пакета! И взаимодействие*

состоится, если этот пакет способен в данных обстоятельствах редуцироваться до локального акта, или же не произойдет совсем, если пакет окажется не способен это сделать. Все или ничего! Других результатов быть не может.

В заключение приведем вольное сравнение, почерпнутое из области наблюдаемых природных явлений. Бомовские траектории следуют из принципа наименьшего действия - они указывают наилучшие пути *миграции* частиц. Уместно искать аналогии с птичьими стаями, с рыбными косяками, или даже с жизнедеятельностью общественных насекомых, таких как пчелы, муравьи, термиты. Современные фильмы из мира животных освещают жизнь таких сообществ достаточно ярко. Представим себе, что они в некоторой степени моделируют волновую функцию. Квантовая природа волновой функции проявляется в том, что каждый участник стаи или косяка связан, незримыми нитями, со всеми остальными участниками «намертво». В таких случаях говорят система пребывает в запутанном состоянии – все участники ансамбля имеют вневременную взаимосвязь между собой вне зависимости от их местоположения. Поимка хотя бы одного участника автоматически означает аннулирование и всех остальных. Это – аналог коллапса волновой функции. Что собой представляет такая незримая сеть, из которой выткана волновая функция? Естественно представить себе, что она, подобно грибному мицелию, простирается через вакуумные состояния, накрывающие всю вселенную. Техника Фейнмановских интегралов по путям [9,10] может предоставить инструментарий для понимания жизни такого «мицелия». Основная идея фейнмановской формулировки такова. После того, как частица покинула источник, она достигает детектор в некотором смысле всеми возможными путями. Каждому пути соответствует комплексное число – некоторый интеграл вдоль этого пути. Сумма таких чисел по всем возможным путям дает амплитуду вероятности данного перехода (из данного источника в данный детектор). Если модуль амплитуды вероятности возвести в квадрат, получим вероятность перехода [11]. Коротко говоря, в данной технике принимаются во внимание всевозможные пути рождения из вакуума, их уничтожения, виртуальные петли рождения-уничтожения частиц, поляризующие вакуум в окрестности данного пути, и т.д. и т.п.

Упомянутая выше сентенция *участники стаи связаны между собой незримыми нитями "намертво"*, вносит некоторый элемент недосказанности, граничащий с намеком на существование скрытого параметра. В отличие от Копенгагеновской интерпретации квантовой механики существует интерпретация, в которой целевым образом используется механизм подобной "мгновенной связи" между участниками. Это - транзакционная интерпретация квантовой механики [12]. Не вдаваясь в подробности этой интерпретации, отметим, что под словом транзакция в денежных электронных операциях между банками подразумевается предварительный обмен *крошечными суммами*, прежде чем начнутся переводы реальных сумм. Однажды проверив надежность электронного канала, далее все другие транзакции выполняются автоматически. Что касается квантово-механических систем, транзакция в данном случае формируется с участием двух волн: запаздывающей волной – предложением (распространяющейся от источника из настоящего в будущее), и опережающей (распространяющейся от детектора из будущего в настоящее) волной – подтверждением [11,12].

Возможно, здесь читатель может испытать некоторый дискомфорт, поскольку в данном случае запаздывающие и опережающие волны выполняют роль, аналогичную роли пилот-волны де Бройля в де Бройль-Бомовской интерпретации.

Литература

1. Wikipedia, *Ultracold neutrons*, URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Ultracold_neutrons
2. G. I. Mark, *Analysis of the spreading Gaussian wavepacket*, Eur. J. Phys., (1997), v.18, pp. 247-250.

3. A. S. Sanz and S. Miret-Artès, *A causal look into the quantum Talbot effect*, (24 Feb 2007), URL: <http://arxiv.org/abs/quant-ph/0702224>
4. Wikipedia, *Talbot effect*, URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Talbot_effect
5. A. S. Sanz and S. Miret-Artès, *A trajectory-based understanding of quantum interference*, (1 Okt 2007), URL: <http://arxiv.org/abs/0806.2105>
6. В. И. Сбитнев, *Бомовские траектории и парадигма интегрирования по путям. Комплексная Лагранжева механика*, Квантовая Магия, (2008), том 5, вып. 4, стр. 4132-4147; URL: <http://quantmagic.narod.ru/volumes/VOL542008/p4132.html>
7. К. Ланцош, *Вариационные принципы механики*, (1965), М. Мир.
8. Wikipedia, *Copenhagen interpretation*, URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Copenhagen_interpretation
9. Р. Фейнман, *«КЭД – странная теория света и вещества»*. Библиотечка «Квант», выпуск 66. М., «Наука», 1988 г.
10. Р. Фейнман, А. Гиббс, *«Квантовая механика и интегралы по траекториям»*. М., «Мир», 1968 г.
11. П. В. Куракин, Г. Г. Малинецкий, *«Как пчелы могут объяснить квантовые парадоксы»*, URL: http://quantum3000.narod.ru/my_papers/intro.html
12. Дж. Крамер, "Транзакционная интерпретация квантовой механики", *Reviews of Modern Physics*, (1986), v. 58, pp. 647-688; URL: <http://ru.laser.ru/transaction/tiqm/>

¹ «Рiра: Ответ #24 : 20 Июля 2008, 15:57:30; Квантовый Портал»
http://quantmag.ppole.ru/index.php?option=com_smf&Itemid=34&topic=287.15

Цитата: Иванов Е.М. от 19 Июля 2008, 17:54:38

Если детекторы выключены, на фотопластинке мы видим интерференцию. Если включены (хотя бы один) - интерференция исчезает и статистика становится тождественной классической.

Мои уши вянут такое читать 😊. Что значит, "детекторы выключены" 😊?

Господа идеалисты договорились уже до того, что считают результат измерения зависимым от того, смотрят ли они на показания измерительного прибора или оставили его без внимания, отлучившись в туалет пописать 😊. Вся подобная галиматья обычно сочиняется с тем дальним прицелом, чтобы протащить вывод о том, что якобы сознание (наблюдателя) определяет полученные им результаты. И нуждаются они в таком выводе для того, чтобы объявить весь мир зависимым от своего сознания.

А начинается такое протаскивание с малого. Сначала с включенного/выключенного детектора, дальше с открытых/закрытых век наблюдателя, а еще дальше с того, что знает/не знает наблюдатель. Т.е. пытаются всячески закамуфлировать физическое ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ (пусть хотя бы с тем же детектором), выпучив наружу лишь процессы передачи информации к человеку. Вот и получается у идеалистов так что, выключив телевизор, они тем самым якобы прекращают нежелательное для себя событие, про которое в тот момент рассказывали в теленовостях; выключив детектор, они якобы прекращают интерференцию; а зарыв голову в песок 😊, предотвращают вообще все нежелательные для себя события.

А уж сколько небылиц слагается вокруг дву-щелевого эксперимента, и словами не сказать, и пером не описать! И чем хуже человек понимает физику, тем чудеснее становятся его выводы. И не надо тут обращать внимание на те формулы с бра-кетной нотацией. Эти формулы они друг у дружки списывают, чтобы математикой прикрыть свое непонимание, а возможно даже намеренно втирают очки. Одно лишь можно сказать с определенностью, что из той математики никак не следуют те выводы, которые эти господа пытаются протащить тихой сапой.

Начитавшись трудов Заречного, эти люди хором повторяют завиральные выводы о том, что якобы с одно-щелевой эксперимент описывается классическим представлением пушки, стреляющей по воробьям, через амбразуру в крепостной стене. И лишь с появлением другой дырки начинается интерференция. Что касается интерференции, то может быть так оно и есть. Тем не менее, не надо намеренно закрывать глаза себе и другим, утверждая, что с одной щелью квантовые эффекты исчезают. Просто одно и тоже физической

явление может называться в физике интерференций или дифракцией, в зависимости от того, как поставлен эксперимент. И волновые эффекты на самом деле оказываются наблюдаемы не в зависимости от числа дырок на экране, а с того самого момента, как размер щели сузился до габаритов, соизмеримых с длиной волны падающего излучения или волны де Бройля для частиц.

Между тем, дифракция электронов была экспериментально открыта аж в 1927 году, и только Заречный и К^о пытаются представить дело, так будто этого никогда не было. Другое дело, что дифракцию электронов на одной щели достаточно трудно осуществить экспериментально. Ибо все природные материалы достаточно дырявы для того, чтобы в них можно было проколоть лишь одну единственную дырочку, наглухо заткнув все остальные. Поэтому дифракцию электронов обычно наблюдают лишь на кристаллических решетках, которые скорее похожи на много-щелевой эксперимент, чем на одно-щелевой. В этом отношении дву-щелевой эксперимент выглядит гораздо нагляднее, т.к. здесь эффект более зависит от расстояния между щелями, чем от их диаметров.

Еще более одиозна идея детекторов, которые якобы только считают пролетающие мимо него электроны, сами с ними никак не взаимодействуя. И такую лажу загибают те, кто считают себя квантовыми физиками! Жуть да и только. Если и существует некий объект, называемый детектором, который способен обнаружить возле себя электрон, то он обязательно должен с ним взаимодействовать! Причем это взаимодействие изменит не только состояние самого детектора, но и того электрона. Почти по 3-му закону Ньютона, утверждающему, что действие равно противодействию 😊. Фактически 3-ый закон Ньютона является частным случаем того факта, что парное взаимодействие всегда оставляет следы на каждом из провзаимодействовавших объектов.

В соответствии с последним, само НАЛИЧИЕ детектора или чего-то иного, что пытается взаимодействовать с электроном на его пути к мишени, будет разрушать интерференционную картину. И тут не надо рассуждать о включенных и выключенных детекторах, потому как вопрос сводится только к тому, **встречает ли электрон на своем пути препятствие, вынуждающее его к взаимодействию, или же нет!** И это может быть и не детектор вовсе, а любая дрянь, не способная профискалить ни чьему сознанию. Поэтому тут ни наблюдатель, ни его сознание, совершенно ни при чем.

Теперь возьмемся собственно за взаимодействие. И обратим свое внимание на то, несмотря на плавный характер распределения электронной плотности на финишной мишени, никогда не встречается такого случая, чтобы электрон приземлился на мишень по частям. Т.е. чтобы одна из его частей приземлилась в одном месте, а другая в другом. О чем это говорит? А говорит о том, что **взаимодействие - локальное событие!** Что как бы широко не "размазалась" частица в пространстве, но в акте взаимодействия она участвует ЦЕЛИКОМ. Т.е. сама мишень или финишный детектор, установленный на мишени, поглотит тот электрон полностью на все 100%, и нигде более в пространстве от него больше ничего не останется. Само взаимодействие есть результат редукции волнового пакета! И взаимодействие состоится, если этот пакет способен в данных обстоятельствах редуцироваться до локального акта, или же не произойдет совсем, если пакет окажется не способен это сделать. Все или ничего! Других результатов быть не может.

Однако сказанное относится не только к детекторам на финиш-мишени, но и вообще к любому детектору, где бы он ни был установлен. И если такой детектор установлен возле щели, то и его это касается в полной мере. Т.е. если все-таки взаимодействие с таким детектором произойдет (т.е. он "посчитает" электрон), то в момент взаимодействия весь электрон "стянется" в эту точку. Соответственно этому, никак не может случиться такого, чтобы этот же электрон был уловлен двумя детекторами сразу. В конце концов, нормировку пси-функции на единицу по всему пространству никто не отменял. Таким образом, невозможность обнаружить один и тот же электрон сразу у двух щелей находит очень простое объяснение.

Однако было бы не совсем верным ожидать, что пара детекторов при щелях полностью прекратит интерференционную картину. Скорее всего интерференционная картина сохранится за счет тех электронов, которые ... успешно миновали оба детектора, не будучи ими посчитанными! 😊. Ведь это только в классическом эксперименте детектор обязан взаимодействовать с каждым пролетающим мимо его электроном. Но в случае квантового объекта, да еще с двумя щелями, надеяться на это можно не всегда. Некоторая часть электронов, не "успевшая сгруппироваться" (в больших кавычках) у одного из детекторов, благополучно минует таможенный пост 😊 и даст стандартную интерференционную картину. Т.е. здесь я высказываю сомнение в том, что в дву-щелевом случае могут быть посчитаны все электроны, пролетающие через щели. Исключением может быть только "разрушающий контроль", когда детектор полностью затыкает щель своим телом.

Есть и еще одна вещь, которая выпала из рассмотрения или специально была забыта. Дело в том, что квантовые (здесь скорее уже волновые) свойства объекта проявляются тогда, когда его размеры соизмеримы с длиной его волны. Однако это правило отчего-то сплошь применяется только к частицам, пролетающим через щель, а ... про саму щель при этом забывают. А ведь столь узкие щели, в соответствии с этим правилом, тоже являются квантовыми объектами! И было бы совершенно неправильно понимать дифракцию лишь односторонне, представляя себе наделенным волновыми свойствами только движущийся

объект, а препятствие на его пути продолжая считать объектом классическим. Не стоит забывать, что **дифракция и интерференция это явления, в котором движущийся объект ВЗАИМОДЕЙСТВУЕТ в первую очередь с ПРЕПЯТСТВИЕМ на своем пути**, а всякие детекторы и наблюдения - это уже дело десятое.

Еще Томас Юнг в 1800 году (!) выдвинул теории дифракции, в соответствии с которой, такие явления происходят потому, что край щели начинает излучать, и это вторичное излучение, интерферируя с первичным, дает в результате типичную дифракционную картину. Со временем его теория была вытеснена теорией Френеля, которая была гораздо "математичнее". Позднее удалось теоретически доказать, что теории Юнга и Френеля всегда дают один и тот же результат, являясь по существу разными толкованиями одного и того же явления. Однако от добра добра не ищут, и теория Френеля продолжала господствовать в умах. Так бы все и оставалось, если бы не широкое использование радиолокации в военных целях. И здесь остро встали практические проблемы по дифракции радиоволн от препятствий, а также интерференция прямых и отраженных от объекта радиоволн. Все это крайне важно было учитывать при обнаружении типа самолетов радиолокационными методами. И вот тут-то и обнаружилось, что теория Френеля чересчур сложна, чтобы с ее помощью проводить вычисления практических случаев. А вот теория Юнга, несмотря на свою "классичность" оказалась на высоте, позволив с достаточной точностью "эмулировать" результирующий эффект отражения радиоволн от корпусов самолетов самых разных конструкций, эффектов отражения радиоволн от ионосферы и т.п.

Этот небольшой экскурс в историю я привожу затем, чтобы напомнить, что далеко не все ясно с самими щелями, т.к. несмотря на свою кажущуюся пустотность, они представляют собой вполне материальные объекты со сложными свойствами. Чтобы всем вам были ясны мои опасения на этот счет, напомню, что любое отклонение света от прямолинейной траектории может быть истолковано, как изменение скорости света из-за изменения свойств среды. Ведь это только в вакууме скорость света равна 300000 км/с, а в стекле и других прозрачных материалах она гораздо меньше. Именно этим эффектом объясняется работа разных призм, линз и зеркал. Однако заметим, что фотон не имеет массы покоя, а потому вроде как замедлится в своем движении он не может. Это противоречие объясняется тем, что фотоны ВЗАИМОДЕЙСТВУЮТ с прозрачной средой, через которую движутся. И это замедление обусловлено актами захвата и последующего испускания пролетающих через среду фотонов, атомами, из которых состоит эта среда. Для нас же сейчас очень важно из этого понять, что пролетающий через такую среду фотон - уже не тот фотон, что в нее влетел! В процессе пролета его многократно "подменяли". Отсюда следует очень важный предельный закон: "Когда элементарная частица изменяет свою прямолинейную траекторию движения, происходит ее подмена другой частицей" 😊. В общем же случае всегда можно считать, что объект до и после взаимодействия - это уже разные объекты, т.е. в процессе взаимодействия произошла "подмена" состояний.

Только что приведенное доказательство наводит по меньшей мере на подозрения, связанные с отклонением траекторий электронов от прямолинейного в дву-щелевом эксперименте. Наличие многогорбого отклика на мишени является вполне достаточным поводом для того, чтобы "проверить документы" у тех электронов, которые свернули с прямолинейного пути. Те ли они, что вылетели со стартовой площадки, или же уже вторичные, которые отразились от краев щели. Ведь сам факт отражения является свидетельством такой подмены.

Далеко не все, что я только что написала нужно рассматривать как истину. Здесь много неясностей, и я пыталась более это показать, чем претендовать на истинность. Тем не менее, отмечу главный недостаток дву-щелевого эксперимента, который заключается в том, что этот эксперимент мысленный! Слишком уж много в нем тех нюансов, которые обошли при рассмотрении. В результате чего и получился вечный двигатель с демоном Максвелла в главной роли. Тот, кто ясно понимает, почему такой Демон не может считаться халявным ресурсом, тот поймет и то, что те детекторы на щелях не менее демоничны. И тот парадокс, которым всех нас хотят удивить, ровно того же пошиба, что и вечный двигатель. Тут следует сначала тщательно разобраться, прежде чем делать далеко идущие выводы о сознании, Вселенной и прочем.

P.S. Про Т.Юнга и его теорию можно посмотреть здесь - http://www.ufn.ru/ufn59/ufn59_10/Russian/r5910g.pdf