

Двухщелевой эксперимент Юнга с людьми¹

Рауль Нахмансон²

(Получена 22 сентября 2004; опубликована 25 сентября 2004)

Проведённые двухщелевой и однощелевой эксперименты с людьми показали существование волновой компоненты поведения у женщин.

Двухщелевой эксперимент, впервые проведённый Томасом Юнгом в 1801-м году со светом, играет важную роль в истории физики. В своё время он разрешил дилемму "частица (Ньютон) или волна (Гюйгенс)" в пользу волн. Но через 100 лет развитие физики восстановило равенство и "дилемма" переквалифицировалась в "дуализм". После появления волновой механики (де-Бройль, Шредингер) интерференционные эксперименты были успешно проведены и с массивными частицами: электронами, нейтронами, атомами и молекулами [1].

Рассмотрим мысленный двухщелевой эксперимент детальной (Рис. 1). Некоторые электроны (фотоны, нейтроны,...), испущенные источником S , долетают до плоскости регистрации R , поскольку в экране SC есть две щели A и B . Электроны регистрируются в плоскости R как частицы, но их пространственное распределение (кривая C) выглядит как интерференция двух когерентных волн, вырезанных экраном SC из первичной волны испущенной источником S . Следует подчеркнуть, что это не коллективное взаимодействие: та же самая картина получается и в случае, когда источник S настолько слаб, что между SC и R одновременно находится в среднем не более одного электрона, и мы должны заключить, что каждый электрон интерферирует "сам с собой". То есть каждый электрон (фотон, нейтрон,...) это и частица, и волна, отсюда термин "корпускулярно-волновой дуализм".

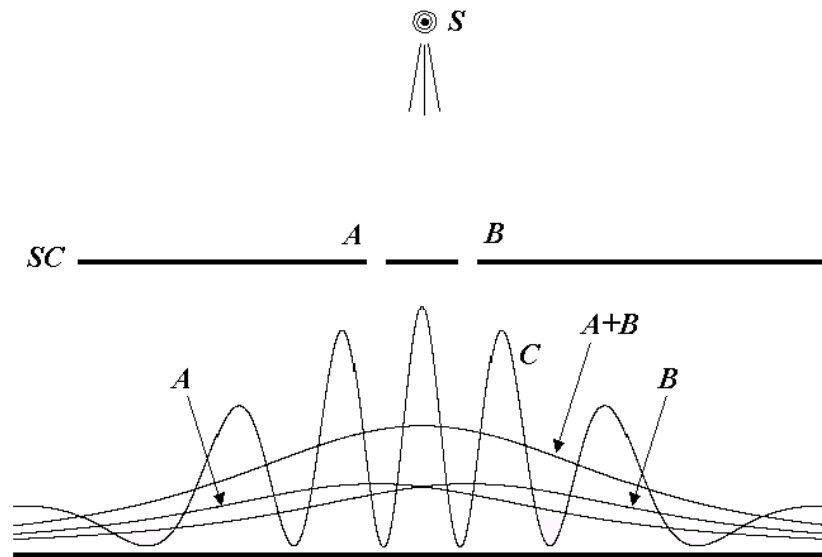


Рис. 1. Двухщелевой эксперимент. Распределения A , B и C соответствуют случаям, когда открыты только щель A , только щель B , или обе щели.

¹ авторизованный перевод из arXiv, quant-ph/0402103

² nakhmanson@t-online.de

Чтобы объяснить интерференционную картину мы должны заключить, что "волна материи" проходит через обе щели. Но если мы разместим детекторы за щелями, то только один из них зарегистрирует электрон, значит он проходит только через одну щель. Другая щель в этот момент вроде бы не играет никакой роли, и может быть закрыта. Но тогда двухщелевой эксперимент может быть разложен на два однощелевых эксперимента с распределениями, показанными на Рис. 1 кривыми A и B . Вероятности независимых событий сложатся в плавную кривую $A+B$ совсем не похожую на кривую C . Таким образом мы имеем очевидный конфликт, и это существо "интерференционной мистории", по мнению Фейнмана главной и даже единственной мистории квантовой механики.

Модельные условия для двухщелевого эксперимента можно записать в виде $t < w < \lambda < d < D < s$, где t это толщина экрана SC , w - ширина щелей, λ - длина волны частиц, d - расстояние между щелями, D - расстояние между экраном и плоскостью регистрации R , s - расстояние между S и SC . Модель двумерна. Суммарная энергия и число частиц, попавших на единицу поверхности R если открыта только щель A , пропорционально $E_a \sim \cos^2(\varphi_a) * (r_a)^{-1}$, а амплитуда волны $F_a \sim \cos(\varphi_a) * (r_a)^{-1/2} * \exp(-i2\pi r_a / \lambda)$, где r_a это длина вектора от щели A до точки x на площади регистрации R , а φ_a это угол между этим вектором и нормалью к R . Амплитуда волны, приходящей от щели B получится заменой индекса a на b . Если открыты обе щели, то амплитуды F_a и F_b складываются и энергия и число частиц пропорциональны квадрату модуля этой суммы:

$$E \sim |F_a + F_b|^2 \sim E_a + E_b + 2(E_a * E_b)^{1/2} * \cos[2\pi(r_a - r_b) / \lambda]. \quad (1)$$

На Рис. 1 $\lambda = 4$, $d = 14$, и $D = 40$ (относительные единицы).

Реальный двухщелевой эксперимент с одиночными электронами впервые был проведён в 1976 году в Болонье. Но как "мысленный эксперимент" он обсуждался уже раньше и обсуждается до сих пор для подчеркивания парадоксального существа квантового мира и понимания его законов. Фейнман часто обращался к нему в своих лекциях. Он говорил:

„We choose to examine a phenomenon which is impossible, absolutely impossible, to explain in any classical way, and which has in it the heart of quantum mechanics. In reality, it contains the only mystery.”

Автор этой статьи имеет свою собственную локально-реалистическую интерпретацию квантовой механики объясняющую все её парадоксы [2]. Я думаю, что элементарные частицы это очень сложные продукты эволюции [3] и могут принимать, обрабатывать и распространять информацию. Иными словами они имеют нечто, что мы обозначаем словом "сознание". Этот особый "скрытый параметр", упущенный Беллом, позволяет им, в частности, предсказывать будущее.

Мы знаем, что частицы следуют волновым законам. Имеют ли они сознание? Для ответа на этот вопрос было предложено несколько экспериментов [2]. С другой стороны мы знаем, что люди имеют сознание. Следуют ли они волновым законам? Для ответа на этот вопрос надо ставить интерференционные эксперименты.

В 1986 - 1987 годах (Новосибирск) я пытался провести компьютерную симуляцию двухщелевого эксперимента с людьми (Рис. 2(a)). "Частица", с которой испытываемый себя отождествляет, испускается источником S и движется вверх. Испытуемый может отклонять её налево и направо, в частности выбирать, через какую щель в экране SC она пройдёт и к какой точке плоскости регистрации R направится дальше. Как и в физическом опыте с частицами, существенное отклонение возможно лишь вблизи щели (до, в и после), с удалением от щели эта возможность отклонения ослабевает.

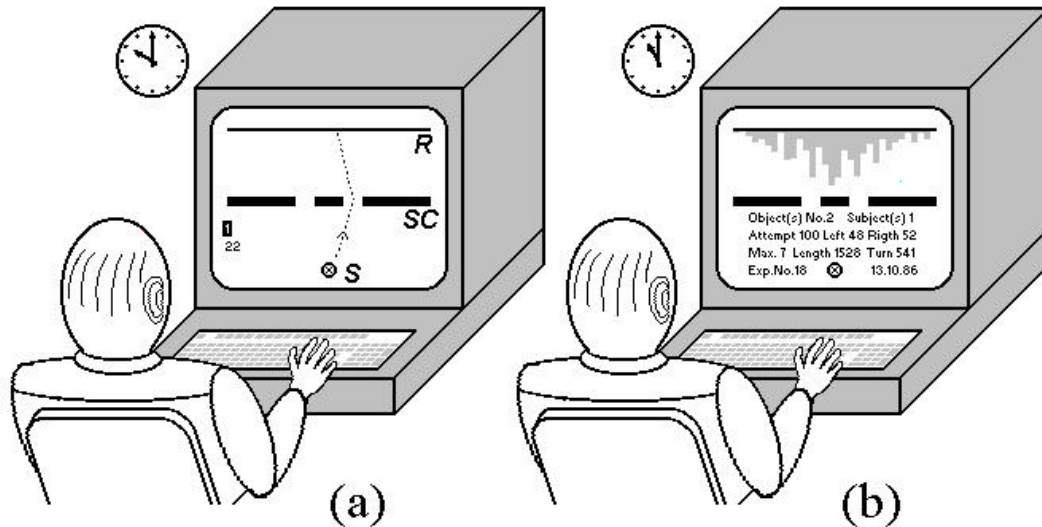


Рис. 2. Компьютерная симуляция двухщелевого эксперимента с людьми.

Пространство между SC и R декларировалось как "лес". В лесу "росли" случайным образом расположенные "грибы". Незаметные издали, они обнаруживали себя только если частица (испытуемый) наталкивалась на них. На смену собранным грибам вырастали случайно расположенные новые грибы, так что число несобранных грибов оставалось постоянным. Испытуемые были заинтересованы собирать грибы. Плоскость R была разделена на нечётное (31) число каналов, и траектория частицы заканчивалась на одном из них. После 100-200 попыток эксперимент прерывался и на дисплей можно было вывести распределение попаданий по каналам (Рис. 2(b)). Для сравнения программа имела также экраны с одной левой или одной правой щелью. Перед началом эксперимента испытуемый имел возможность "разогреться" на субпрограмме где он мог сделать грибы видимыми. После начала эксперимента лес заново заполнялся невидимыми грибами. Испытуемого просили искать грибы не по какому-то плану, а спонтанно.

Для получения надёжных результатов подобные эксперименты нуждаются в хорошей статистике. Это могут быть повторяющиеся эксперименты с одним стабильным испытуемым или много испытуемых со сходными характеристиками. Оба требования соответствуют "монокроматичному" потоку и в психологических экспериментах их реализовать труднее, чем в физических. Другая проблема - выбор количества грибов. Поскольку столкновение с грибом может нарушить имевшийся план движения (т.е. вызвать коллапс волновой функции), такие попытки исключались из статистики. Таким образом для статистики лучше вообще не иметь грибов, но при этом мы убираем мотивацию и делаем работу испытуемого скучной.

Хотя первые результаты обнадеживали, проблема со статистикой решена тогда не была. Эксперименты были прерваны и возобновлены только в 2003 году (Франкфурт на Майне). Компьютерная программа была улучшена³, в частности число каналов было увеличено до 63. Во время эксперимента испытуемый слушал через наушники спокойную классическую музыку. Единичный эксперимент с одним испытуемым ("сессия") включал до 1000 попыток. Всего 31 испытуемый за 68 сессий сделал 63213 попыток (траекторий),

³ Программа может быть бесплатно получена по запросу через e-mail.

что вместе заняло около 90 часов. Возраст испытуемых был от 6 до 43 лет, в основном между 20 и 30 (студенты).

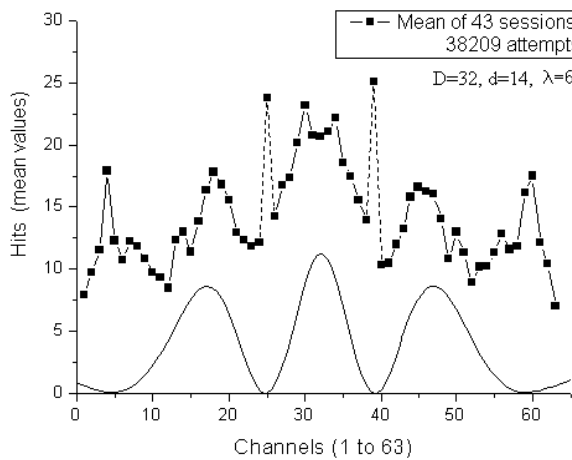


Рис. 3. Средние значения. Включены все 43 сессии.

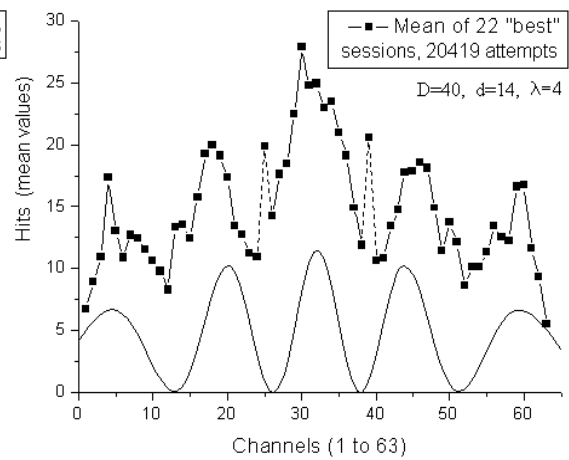


Рис. 4. Средние значения. Только 22 "волнистые" сессии.

На Рис. 3 и 4 представлены результаты (средние значения) двухщелевого эксперимента с людьми. Всего участвовало 26 испытуемых (23 женщины и 3 мужчины) проделавших в 43 сессиях 38209 попыток. В распределениях отчётливо проявляется волновая компонента, контраст центральных пиков превышает 35%. Можно предполагать и наличие более тонкой структуры. Положение щелей соответствует каналам 25 и 39. Им на распределениях соответствуют острые пики (показаны пунктиром). Повидимому это артефакты связанные с потерей концентрации в моменты расслабления, когда испытуемый перестаёт контролировать "частицу".

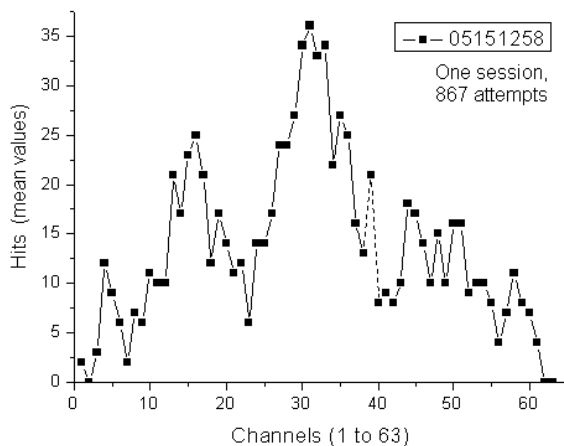


Рис. 5. Пример "волнистой" сессии.

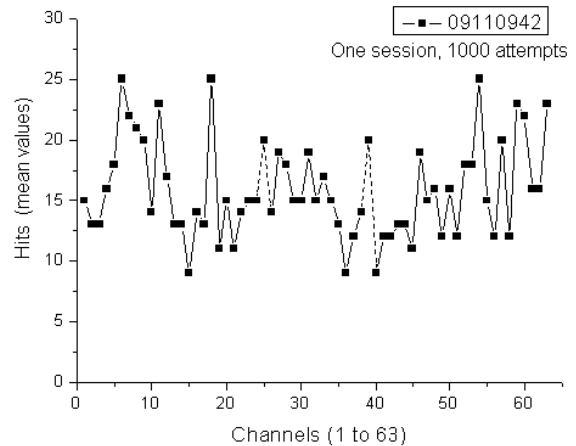


Рис. 6. Пример "однородной" сессии.

Следует подчеркнуть, что испытуемые в случае Рис. 3 не проходили предварительного отбора, были включены все, кого удалось привлечь. Распределение индивидуальных сессий выглядело различно, два противоположных случая показаны на Рис. 5 и 6. Таким образом множество сессий было неоднородным ("немонохроматичным"), что, конечно, размывало интерференционную картину. Тем не менее результаты могут рассматриваться

как репрезентативные, поскольку распределение "лучшей половины" (22 сессии отобранные как "волнистые", 20419 попыток), показанное на Рис. 4, мало отличается от распределения Рис. 3, включающего все сессии, а стандартные отклонения σ (Рис. 7 и 8) однородны

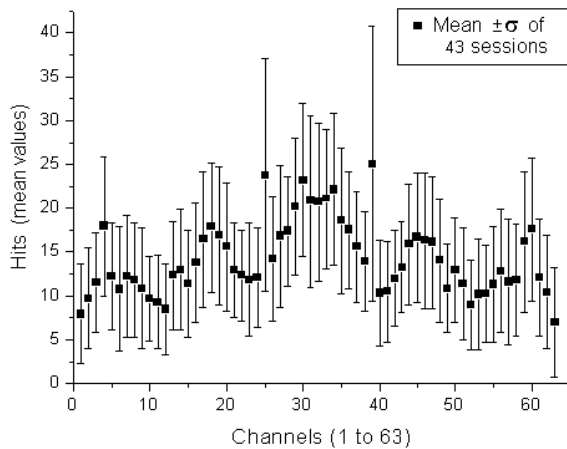


Рис. 7. Стандартное отклонение σ для всех 43-х сессий.

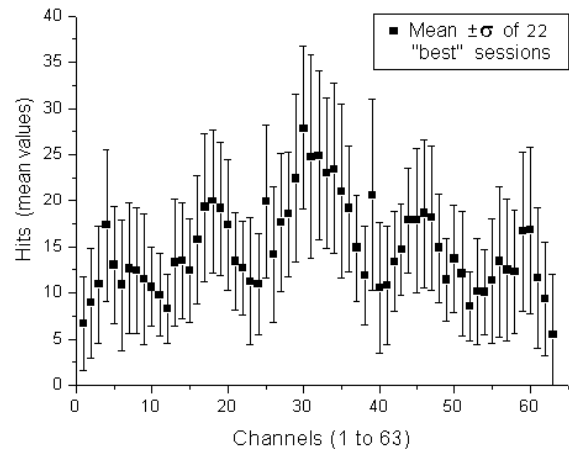


Рис. 8. Стандартное отклонение σ для 22-х "волнистых" сессий.

"Теоретическая" кривая на Рис. 3 соответствует формуле (1) и значениям параметров $D = 32$, $d = 14$, and $\lambda = 6$ (относительные единицы). Величина $d = 14$ появляется как число каналов между щелями (39-25), отношение D/d известно из геометрии эксперимента, а λ - свободный параметр, подбираемый для лучшего совпадения положения пиков с экспериментом. Видно, однако, что в целом эта теоретическая кривая плохо согласуется с экспериментом. Расхождение может быть вызвано следующими причинами:

1. Множество сессий немонохроматично. Но на эту причину можно списать только приподнятость экспериментальной кривой над нулевым уровнем.

2. Компьютерная симуляция это не реальность. Например, глаза испытуемых были дальше от плоскости R чем "глаза" движущегося объекта, что может расцениваться испытуемыми как увеличение D . Более независимо соотношение между d и λ . Оно может быть оценено по числу минимумов $N \approx 2d/\lambda$ и не зависит от D . Распределения, показанные на Рис. 3 и 4 склоняют к оценке $N \geq 6$. Если $d = 14$ то $\lambda \leq 4.7$. Теоретическая кривая на Рис. 4 имеет параметры $D = 40$, $d = 14$ и $\lambda = 4$ и гораздо лучше соотносится с экспериментом.

3. Волновое уравнение для людей отличается от волнового уравнения для электронов. В пользу этого говорят приведённые ниже результаты однощелевых экспериментов.

Двухщелевой эксперимент показал, что у мужчин волновая компонента исчезающе мала. В частности, они не были включены в отобранные 22 лучших сессии. В множестве всех 43 двухщелевых сессий их вклад был пренебрежимо мал по сравнению с вкладом женщин (2880 попыток в 3 мужских сессиях против 35329 попыток в 40 женских сессиях). Таким образом распределения, показанные на Рис. 3 и 4, можно считать чисто женскими. Статистика мужских двухщелевых экспериментов была слишком мала, чтобы делать более серьёзные заключения, но было ясно, что мужчин и женщин надо рассматривать отдельно.

Такое разделение было проведено в однощелевых экспериментах с участием 3 женщин (15 сессий, 15002 попытки) и 2 мужчин (10 сессий, 10002 попытки). Никто из этих испытуемых не принимал участия в двухщелевых экспериментах. Рис. 9 и 11 представляют результаты женщин, Рис. 10 и 12 - результаты мужчин. У женщин волновая компонента явно выражена с контрастом более 40% , есть указания и на "тонкую структуру". В противоположность этому у мужчин присутствует только "тонкая структура". Среднее стандартное отклонение усреднённое по всем 63 каналам было у женщин $\langle \sigma \rangle = 5.37$, у мужчин $\langle \sigma \rangle = 4.88$, несмотря на то, что мужчин было в 1.5 раз меньше. Это говорит о том, что множество мужских сессий было более однородно.

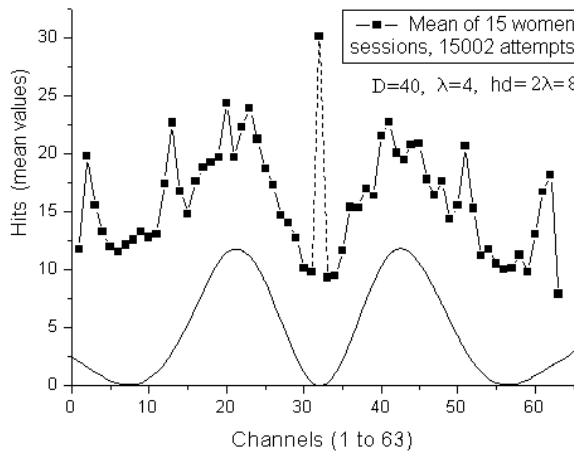


Рис. 9. Одна щель, женщины.
Средние значения.

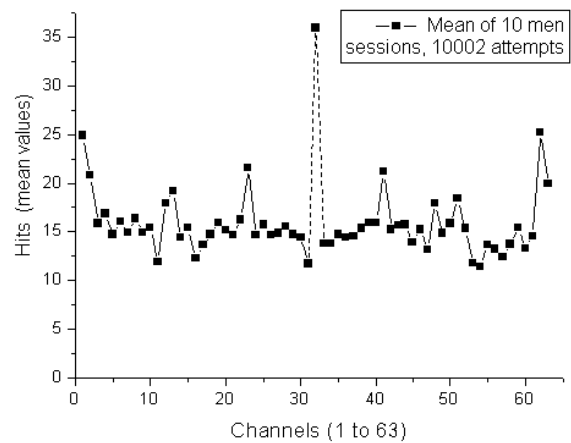


Рис. 10. Одна щель, мужчины.
Средние значения.

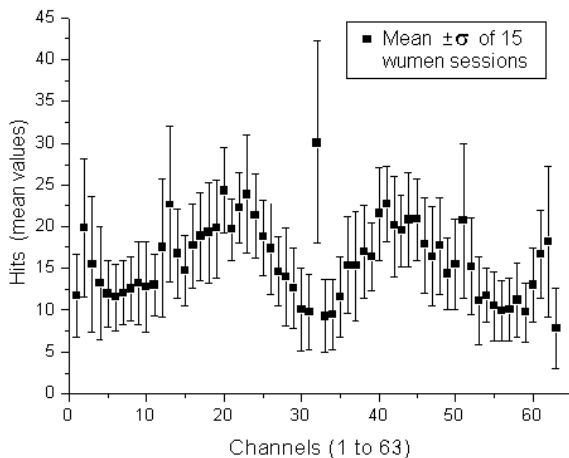


Рис. 11. Одна щель, женщины.
Стандартное отклонение σ .

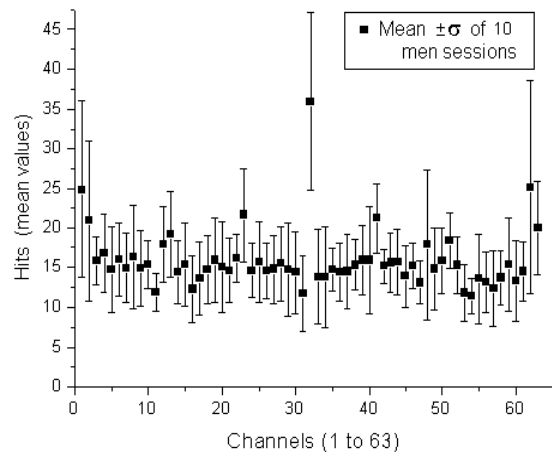


Рис. 12. Одна щель, мужчины.
Стандартное отклонение σ .

Положение щели соответствовало центральному 32-му каналу. На Рис. 9 и 10 здесь виден острый пик (выделен пунктиром). Природа его скорее всего та же, что и в случае Рис. 3 и 4 - короткое расслабление, потеря концентрации, передача управления на самотёк. Не исключено, что в симметричной ситуации играет роль и "эффект буриданова осла".

В то время как результат двухщелевого эксперимента с людьми подобен результатам двухщелевых экспериментов с частицами, результат однощелевого эксперимента с людьми отличается от результатов, полученных с частицами и представляемыми кривыми *A* и *B* на Рис. 1. Особо неожиданным является распределение, полученное женщинами,

где в центре вместо пологого максимума имеется глубокий минимум (Рис. 9 и 11). Удовлетворительную аппроксимацию этого распределения (с точностью до постоянного фона) даёт формула (1), если изменить знак у интерференционного члена:

$$E \sim E_a + E_b - 2(E_a * E_b)^{1/2} * \cos[2\pi(\mathbf{r}_a - \mathbf{r}_b)/\lambda] . \quad (2)$$

Поскольку мы имеем здесь только одну щель, величина "скрытого параметра" \mathbf{d} должна постулироваться отдельно, например, $\mathbf{d} = 2\lambda$. Форма "теоретической" кривой зависит тогда только от отношения \mathbf{D}/λ . "Теоретическая" кривая на Рис. 9 построена по формуле (2) с параметрами $\mathbf{D} = 40$, $\lambda = 4$, $\mathbf{d} = 8$ и неким коэффициентом, задающим амплитуду.

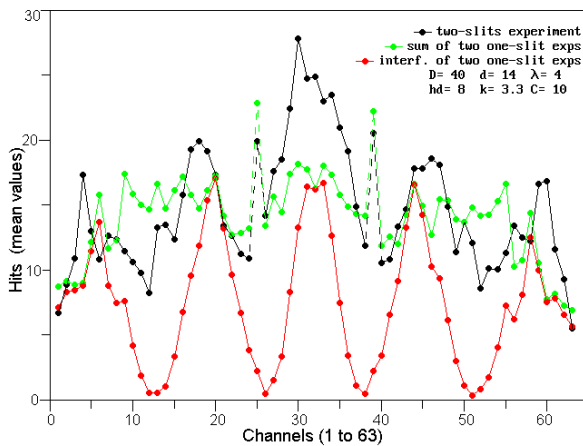


Рис. 13. Двухщелевой эксперимент составленный из двух однощелевых экспериментов.

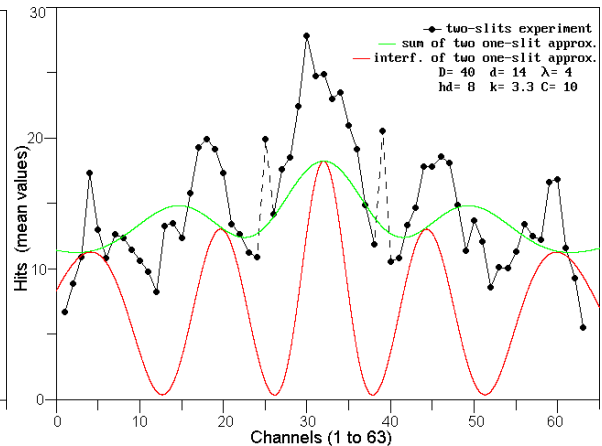


Рис. 14. Двухщелевой эксперимент составленный из двух однощелевых аппроксимаций.

Неожиданное распределение, показанное на Рис. 9 и 11, не находится в неустраиваемом противоречии с результатами двухщелевого эксперимента. На Рис. 13 чёрными кружками ещё раз показаны результаты двухщелевого эксперимента (22 "лучших" сессии). Зелёные кружки показывают простую сумму результатов двух экспериментальных однощелевых экспериментов Рис. 9 (с множителем для получения того же отношения числа попыток к числу сессий) смещённых на -7 и $+7$ каналов, т.е. в положение щелей двухщелевого эксперимента. Распределение, показанное зелёными кружками, соответствует кривой $A+B$ на Рис. 1. Красные кружки на Рис. 13 показывают интерференцию этих двух разнесённых однощелевых экспериментов вычисленную по формуле (1) при $\mathbf{D} = 40$, $\mathbf{d} = 14$, и $\lambda = 4$. Для большей наглядности амплитуда красной кривой уменьшена в два раза.

Рис. 14 это аналог Рис. 13 с той разницей, что вместо результатов однощелевого эксперимента использована их аппроксимация (нижняя кривая на Рис. 9 смещённая на постоянную $C = +10$).

Автор благодарен сотрудникам Института Психологии Гете-Университета (Франкфурт на Майне), особенно W. Mask и U. Krause, за их помощь в проведении экспериментов.

Литература

- [1] См., напр., *Editorials* (Peter Rodgers) в *Physics World*, Sept. 2002 / May 2003.
- [2] R. Nakhmanson, в *LANL archive*, <http://arXiv.org/pdf/physics/0004047> .
- [3] R. Nakhmanson, там же, <http://arXiv.org/pdf/quant-ph/0303162> .