

Квантовая физика

Введение

Андрей Рабусов

27 декабря 2020

Квантовая
механика

Введение

Статические
постулаты

Двухщелевой опыт

Квантовая
теория поля

Дискретные
симметрии

CP симметрия

Стандартная модель

Экспериментальные
установки

Заключение

Содержание

Квантовая
физика

А. Рабусов

Квантовая механика

Введение

Статические постулаты

Двухщелевой опыт

Квантовая
механика

Введение

Статические
постулаты

Двухщелевой опыт

Квантовая теория поля

Дискретные симметрии

CP симметрия

Стандартная модель

Экспериментальные установки

Квантовая
теория поля

Дискретные
симметрии

CP симметрия

Стандартная модель

Экспериментальные
установки

Заключение

Заключение

Поле комплексных чисел \mathbb{C}

Поле комплексных чисел \mathbb{C}

$$i^2 = -1$$

Поле комплексных чисел \mathbb{C}

$$i^2 = -1$$

$$z = x + i y, z^* = x - i y$$

Поле комплексных чисел \mathbb{C}

$$i^2 = -1$$

$$z = x + i y, z^* = x - i y$$

$$e^{i\varphi} = \cos \varphi + i \sin \varphi$$

Поле комплексных чисел \mathbb{C}

$$i^2 = -1$$

$$z = x + i y, z^* = x - i y$$

$$e^{i\varphi} = \cos \varphi + i \sin \varphi$$

Гильбертово пространство \mathcal{H} над полем комплексных чисел \mathbb{C}

Поле комплексных чисел \mathbb{C}

$$i^2 = -1$$

$$z = x + i y, z^* = x - i y$$

$$e^{i\varphi} = \cos \varphi + i \sin \varphi$$

Гильбертово пространство \mathcal{H} над полем комплексных чисел \mathbb{C}

Линейное векторное пространство

Поле комплексных чисел \mathbb{C}

$$i^2 = -1$$

$$z = x + i y, z^* = x - i y$$

$$e^{i\varphi} = \cos \varphi + i \sin \varphi$$

Гильбертово пространство \mathcal{H} над полем комплексных чисел \mathbb{C}

Линейное векторное пространство

Определено скалярное произведение для любой пары векторов \mathbf{u} и \mathbf{v} :

$$(\mathbf{u}^\dagger, \mathbf{v}) \in \mathbb{C}, \mathbf{u}^\dagger = (\mathbf{u}^\top)^*$$

Поле комплексных чисел \mathbb{C}

$$i^2 = -1$$

$$z = x + i y, z^* = x - i y$$

$$e^{i\varphi} = \cos \varphi + i \sin \varphi$$

Гильбертово пространство \mathcal{H} над полем комплексных чисел \mathbb{C}

Линейное векторное пространство

Определено скалярное произведение для любой пары векторов \mathbf{u} и \mathbf{v} :

$$(\mathbf{u}^\dagger, \mathbf{v}) \in \mathbb{C}, \mathbf{u}^\dagger = (\mathbf{u}^\top)^*$$

Скалярное произведение порождает норму, например

$$\|\mathbf{u}\|^2 = (\mathbf{u}^\dagger, \mathbf{u})$$

Поле комплексных чисел \mathbb{C}

$$i^2 = -1$$

$$z = x + i y, z^* = x - i y$$

$$e^{i\varphi} = \cos \varphi + i \sin \varphi$$

Гильбертово пространство \mathcal{H} над полем комплексных чисел \mathbb{C}

Линейное векторное пространство

Определено скалярное произведение для любой пары векторов \mathbf{u} и \mathbf{v} :

$$(\mathbf{u}^\dagger, \mathbf{v}) \in \mathbb{C}, \mathbf{u}^\dagger = (\mathbf{u}^\top)^*$$

Скалярное произведение порождает норму, например

$$\|\mathbf{u}\|^2 = (\mathbf{u}^\dagger, \mathbf{u})$$

Обозначения Дирака: $\langle u| = \mathbf{u}^\dagger, |u\rangle = \mathbf{u}$

$$\langle u|v\rangle = (\mathbf{u}^\dagger, \mathbf{v})$$

Постулаты 1–2

П1 Чистое состояние системы $|\psi\rangle$ описывается вектором гильбертова пространства \mathcal{H} над \mathbb{C}

Постулаты 1–2

- П1 Чистое состояние системы $|\psi\rangle$ описывается вектором гильбертова пространства \mathcal{H} над \mathbb{C}
- П2 Чистое состояние $|\psi\rangle$ задаётся только направлением вектора из \mathcal{H}

Постулаты 1–2

- П1** Чистое состояние системы $|\psi\rangle$ описывается вектором гильбертова пространства \mathcal{H} над \mathbb{C}
- П2** Чистое состояние $|\psi\rangle$ задаётся только направлением вектора из \mathcal{H}
Можно выбрать любую ненулевую нормировку, например

$$\langle\psi|\psi\rangle = 1$$

Постулаты 1–2

- П1** Чистое состояние системы $|\psi\rangle$ описывается вектором гильбертова пространства \mathcal{H} над \mathbb{C}
- П2** Чистое состояние $|\psi\rangle$ задаётся только направлением вектора из \mathcal{H}
Можно выбрать любую ненулевую нормировку, например

$$\langle\psi|\psi\rangle = 1$$

Эволюция замкнутой системы унитарна

$$|\psi(t)\rangle = U(t, t_0) |\psi(t_0)\rangle$$

$$U^\dagger(t, t_0) U(t, t_0) = \hat{1}$$

Принцип суперпозиции (постулат 3)

Положим, что квантовая система до измерения в состоянии $|\psi\rangle$

Принцип суперпозиции (постулат 3)

Положим, что квантовая система до измерения в состоянии $|\psi\rangle$

После многократных измерений при помощи макроскопического прибора $|\psi\rangle \rightarrow |\varphi_i\rangle$

Принцип суперпозиции (постулат 3)

Положим, что квантовая система до измерения в состоянии $|\psi\rangle$

После многократных измерений при помощи макросприбора $|\psi\rangle \rightarrow |\varphi_i\rangle$

$|\varphi_i\rangle$ различимы при помощи макросприбора, т. е.

$$\langle \varphi_i | \varphi_j \rangle = \delta_{ij} = \begin{cases} 0 & \text{if } i \neq j \\ 1 & \text{if } i = j \end{cases}$$

Принцип суперпозиции (постулат 3)

Положим, что квантовая система до измерения в состоянии $|\psi\rangle$

После многократных измерений при помощи макropriбора $|\psi\rangle \rightarrow |\varphi_i\rangle$

$|\varphi_i\rangle$ различимы при помощи макropriбора, т. е.

$$\langle \varphi_i | \varphi_j \rangle = \delta_{ij} = \begin{cases} 0 & \text{if } i \neq j \\ 1 & \text{if } i = j \end{cases}$$

$$|\psi\rangle = \sum_i c_i |\varphi_i\rangle, \quad c_i \in \mathbb{C}, \quad c_i = \langle \varphi_i | \psi \rangle$$

Принцип суперпозиции (постулат 3)

Положим, что квантовая система до измерения в состоянии $|\psi\rangle$

После многократных измерений при помощи макropriбора $|\psi\rangle \rightarrow |\varphi_i\rangle$
 $|\varphi_i\rangle$ различимы при помощи макropriбора, т. е.

$$\langle \varphi_i | \varphi_j \rangle = \delta_{ij} = \begin{cases} 0 & \text{if } i \neq j \\ 1 & \text{if } i = j \end{cases}$$

$$|\psi\rangle = \sum_i c_i |\varphi_i\rangle, \quad c_i \in \mathbb{C}, \quad c_i = \langle \varphi_i | \psi \rangle$$

\hat{P}_{φ_i} Проекционный оператор $\hat{P}_{\varphi_i} = |\varphi_i\rangle \langle \varphi_i|$

$$\hat{P}_{\varphi_i} |\psi\rangle = c_i |\varphi_i\rangle$$

Принцип суперпозиции (постулат 3)

Положим, что квантовая система до измерения в состоянии $|\psi\rangle$

После многократных измерений при помощи макropriбора $|\psi\rangle \rightarrow |\varphi_i\rangle$
 $|\varphi_i\rangle$ различимы при помощи макropriбора, т. е.

$$\langle \varphi_i | \varphi_j \rangle = \delta_{ij} = \begin{cases} 0 & \text{if } i \neq j \\ 1 & \text{if } i = j \end{cases}$$

$$|\psi\rangle = \sum_i c_i |\varphi_i\rangle, \quad c_i \in \mathbb{C}, \quad c_i = \langle \varphi_i | \psi \rangle$$

\hat{P}_{φ_i} Проекционный оператор $\hat{P}_{\varphi_i} = |\varphi_i\rangle \langle \varphi_i|$

$$\hat{P}_{\varphi_i} |\psi\rangle = c_i |\varphi_i\rangle$$

$$\sum_i \hat{P}_{\varphi_i} = \hat{1}$$

Постулаты 4–5

П4 Физический смысл c_i (Макс Борн)

Квантовая
физика

А. Рабусов

Квантовая
механика

Введение

**Статические
постулаты**

Двухщелевой опыт

Квантовая
теория поля

Дискретные
симметрии

CP симметрия

Стандартная модель

Экспериментальные
установки

Заключение

П4 Физический смысл c_i (Макс Борн)

Пусть во время измерения $|\psi\rangle \rightarrow |\varphi_i\rangle$

П4 Физический смысл c_i (Макс Борн)

Пусть во время измерения $|\psi\rangle \rightarrow |\varphi_i\rangle$

Условная вероятность w_i обнаружить систему в состоянии i :

$$w_i = |c_i|^2 = \langle \psi | \varphi_i \rangle \langle \varphi_i | \psi \rangle = \mathbb{P} \left\{ \hat{P}_\psi \hat{P}_{\varphi_i} \right\}$$

П4 Физический смысл c_i (Макс Борн)

Пусть во время измерения $|\psi\rangle \rightarrow |\varphi_i\rangle$

Условная вероятность w_i обнаружить систему в состоянии i :

$$w_i = |c_i|^2 = \langle \psi | \varphi_i \rangle \langle \varphi_i | \psi \rangle = \mathbb{P} \left\{ \hat{P}_\psi \hat{P}_{\varphi_i} \right\}$$

П5 Среднее наблюдаемого

П4 Физический смысл c_i (Макс Борн)

Пусть во время измерения $|\psi\rangle \rightarrow |\varphi_i\rangle$

Условная вероятность w_i обнаружить систему в состоянии i :

$$w_i = |c_i|^2 = \langle \psi | \varphi_i \rangle \langle \varphi_i | \psi \rangle = \mathbb{P} \left\{ \hat{P}_\psi \hat{P}_{\varphi_i} \right\}$$

П5 Среднее наблюдаемого

Набор наблюдаемых $\{a_i\}$ (спектр, $a_i \in \mathbb{R}$)

П4 Физический смысл c_i (Макс Борн)

Пусть во время измерения $|\psi\rangle \rightarrow |\varphi_i\rangle$

Условная вероятность w_i обнаружить систему в состоянии i :

$$w_i = |c_i|^2 = \langle \psi | \varphi_i \rangle \langle \varphi_i | \psi \rangle = \mathbb{P} \left\{ \hat{P}_\psi \hat{P}_{\varphi_i} \right\}$$

П5 Среднее наблюдаемого

Набор наблюдаемых $\{a_i\}$ (спектр, $a_i \in \mathbb{R}$)

$\hat{A} |a_i\rangle = a_i |a_i\rangle$, \hat{A} — эрмитовский оператор, $|a_i\rangle$ — собственные состояния оператора \hat{A}

П4 Физический смысл c_i (Макс Борн)

Пусть во время измерения $|\psi\rangle \rightarrow |\varphi_i\rangle$

Условная вероятность w_i обнаружить систему в состоянии i :

$$w_i = |c_i|^2 = \langle \psi | \varphi_i \rangle \langle \varphi_i | \psi \rangle = \mathbb{P} \left\{ \hat{P}_\psi \hat{P}_{\varphi_i} \right\}$$

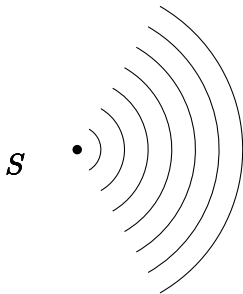
П5 Среднее наблюдаемого

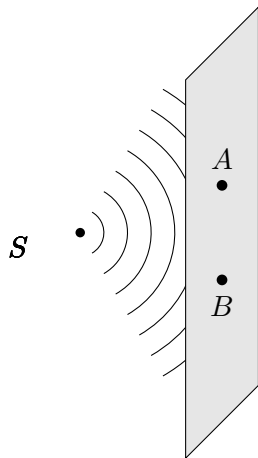
Набор наблюдаемых $\{a_i\}$ (спектр, $a_i \in \mathbb{R}$)

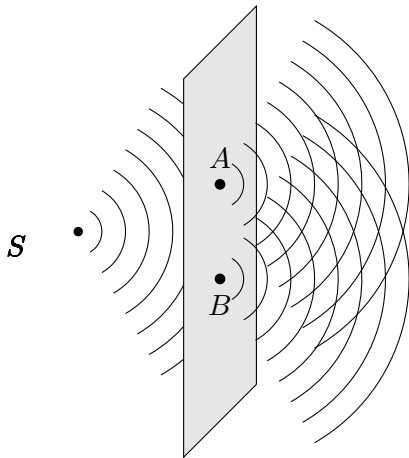
$\hat{A} |a_i\rangle = a_i |a_i\rangle$, \hat{A} — эрмитовский оператор, $|a_i\rangle$ — собственные состояния оператора \hat{A}

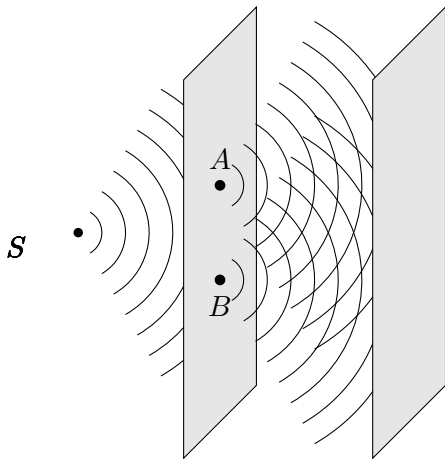
Среднее значение наблюдаемой a по состоянию $|\psi\rangle$:

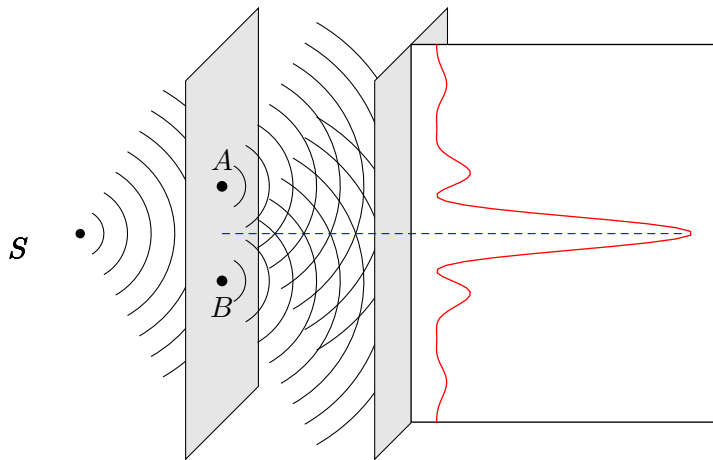
$$\langle a \rangle = \langle \psi | \hat{A} | \psi \rangle = \mathbb{P} \left\{ \hat{A} \hat{P}_\psi \right\}$$











Дополнительный детектор у щели A — дифракция

Квантовая
физика

А. Рабусов

Квантовая
механика

Введение

Статические
постулаты

Двухщелевой опыт

Квантовая
теория поля

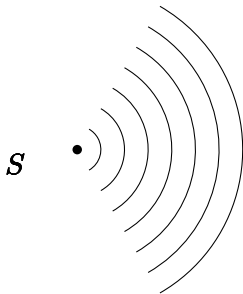
Дискретные
симметрии

CP симметрия

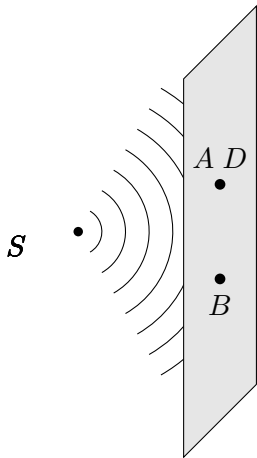
Стандартная модель

Экспериментальные
установки

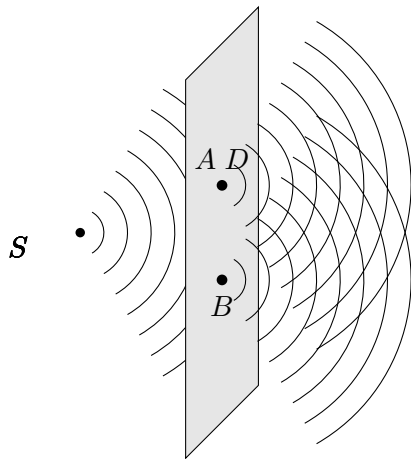
Заключение



Дополнительный детектор у щели A — дифракция



Дополнительный детектор у щели A — дифракция



Дополнительный детектор у щели A — дифракция

Квантовая
физика

А. Рабусов

Квантовая
механика

Введение

Статические
постулаты

Двухщелевой опыт

Квантовая
теория поля

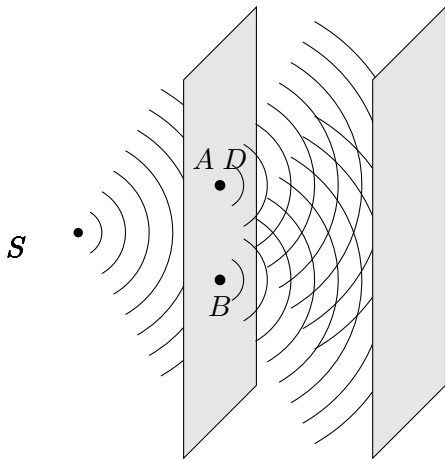
Дискретные
симметрии

CP симметрия

Стандартная модель

Экспериментальные
установки

Заключение



Дополнительный детектор у щели A — дифракция

Квантовая
физика

А. Рабусов

Квантовая
механика

Введение

Статические
постулаты

Двухщелевой опыт

Квантовая
теория поля

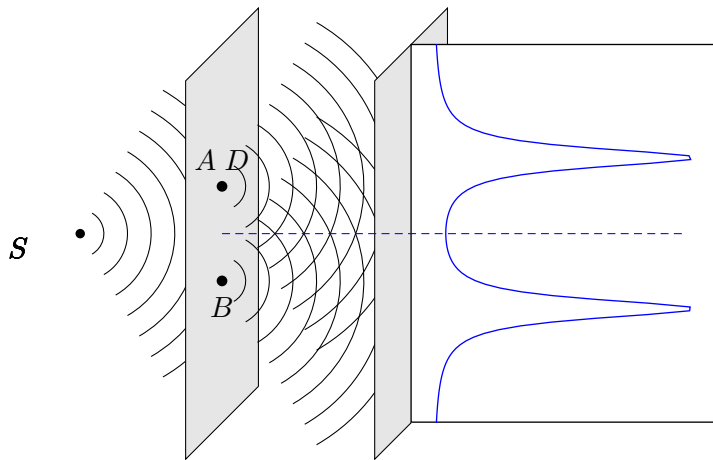
Дискретные
симметрии

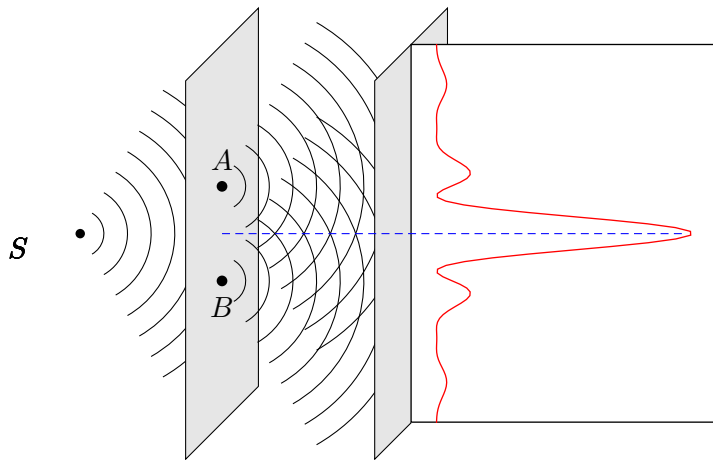
CP симметрия

Стандартная модель

Экспериментальные
установки

Заключение





Классическая логика

Классическое описание:

Квантовая
физика

А. Рабусов

Квантовая
механика

Введение

Статические
постулаты

Двухщелевой опыт

Квантовая
теория поля

Дискретные
симметрии

CP симметрия

Стандартная модель

Экспериментальные
установки

Заключение

Классическая логика

Классическое описание:

Событие A — фотон прошёл через щель A

Квантовая
физика

А. Рабусов

Квантовая
механика

Введение

Статические
постулаты

Двухщелевой опыт

Квантовая
теория поля

Дискретные
симметрии

CP симметрия

Стандартная модель

Экспериментальные
установки

Заключение

Классическое описание:

Событие A — фотон прошёл через щель A

Событие B — фотон прошёл через щель B

Классическое описание:

Событие A — фотон прошёл через щель A

Событие B — фотон прошёл через щель B

Событие $C(x)$ — фотон попал на фотопластину в точке x

Классическое описание:

Событие A — фотон прошёл через щель A

Событие B — фотон прошёл через щель B

Событие $C(x)$ — фотон попал на фотопластину в точке x

Свойство операций «и», «или» в классической логике:

$$w \{C(x) \text{ и } [A \text{ или } B]\} = w \{ [C(x) \text{ и } A] \text{ или } [C(x) \text{ и } B] \}$$

Классическое описание:

Событие A — фотон прошёл через щель A

Событие B — фотон прошёл через щель B

Событие $C(x)$ — фотон попал на фотопластину в точке x

Свойство операций «и», «или» в классической логике:

$$w \{C(x) \text{ и } [A \text{ или } B]\} = w \{ [C(x) \text{ и } A] \text{ или } [C(x) \text{ и } B] \}$$

Квантовое описание:

Классическое описание:

Событие A — фотон прошёл через щель A

Событие B — фотон прошёл через щель B

Событие $C(x)$ — фотон попал на фотопластину в точке x

Свойство операций «и», «или» в классической логике:

$$w \{C(x) \text{ и } [A \text{ или } B]\} = w \{ [C(x) \text{ и } A] \text{ или } [C(x) \text{ и } B] \}$$

Квантовое описание:

$w \{C(x) \text{ и } [A \text{ или } B]\}$ — интерференция

Классическое описание:

Событие A — фотон прошёл через щель A

Событие B — фотон прошёл через щель B

Событие $C(x)$ — фотон попал на фотопластину в точке x

Свойство операций «и», «или» в классической логике:

$$w \{C(x) \text{ и } [A \text{ или } B]\} = w \{ [C(x) \text{ и } A] \text{ или } [C(x) \text{ и } B] \}$$

Квантовое описание:

$w \{C(x) \text{ и } [A \text{ или } B]\}$ — интерференция

$w \{ [C(x) \text{ и } A] \text{ или } [C(x) \text{ и } B] \}$ — дифракция

Классическое описание:

Событие A — фотон прошёл через щель A

Событие B — фотон прошёл через щель B

Событие $C(x)$ — фотон попал на фотопластину в точке x

Свойство операций «и», «или» в классической логике:

$$w \{C(x) \text{ и } [A \text{ или } B]\} = w \{ [C(x) \text{ и } A] \text{ или } [C(x) \text{ и } B] \}$$

Квантовое описание:

$w \{C(x) \text{ и } [A \text{ или } B]\}$ — интерференция

$w \{ [C(x) \text{ и } A] \text{ или } [C(x) \text{ и } B] \}$ — дифракция

$$w \{C(x) \text{ и } [A \text{ или } B]\} \neq w \{ [C(x) \text{ и } A] \text{ или } [C(x) \text{ и } B] \}$$

Содержание раздела

Квантовая механика

Квантовая теория поля

Дискретные симметрии

CP симметрия

Стандартная модель

Экспериментальные установки

Заключение

Квантовая
физика

А. Рабусов

Квантовая
механика

Введение

Статические
постулаты

Двухщелевой опыт

Квантовая
теория поля

Дискретные
симметрии

CP симметрия

Стандартная модель

Экспериментальные
установки

Заключение

\mathcal{P} -, \mathcal{T} -, и \mathcal{C} - симметрии

Определение преобразований:

Квантовая
физика

А. Рабусов

Квантовая
механика

Введение

Статические
постулаты

Двухщелевой опыт

Квантовая
теория поля

**Дискретные
симметрии**

\mathcal{CP} симметрия

Стандартная модель

Экспериментальные
установки

Заключение

\mathcal{P} -, \mathcal{T} -, и \mathcal{C} - симметрии

Определение преобразований:

$$\hat{\mathcal{P}} |\psi(\vec{x})\rangle = |\psi(-\vec{x})\rangle$$

\mathcal{P} -, \mathcal{T} -, и \mathcal{C} - симметрии

Определение преобразований:

$$\hat{\mathcal{P}} |\psi(\vec{x})\rangle = |\psi(-\vec{x})\rangle$$

$$\hat{\mathcal{T}} |\psi(t)\rangle = |\psi(-t)\rangle$$

\mathcal{P} -, \mathcal{T} -, и \mathcal{C} - симметрии

Определение преобразований:

$$\hat{\mathcal{P}} |\psi(\vec{x})\rangle = |\psi(-\vec{x})\rangle$$

$$\hat{\mathcal{T}} |\psi(t)\rangle = |\psi(-t)\rangle$$

$$q_i \text{ — набор зарядов, } \hat{\mathcal{C}} |\psi(q_i)\rangle = |\psi(-q_i)\rangle$$

\mathcal{P} -, \mathcal{T} -, и \mathcal{C} - симметрии

Определение преобразований:

$$\hat{\mathcal{P}} |\psi(\vec{x})\rangle = |\psi(-\vec{x})\rangle$$

$$\hat{\mathcal{T}} |\psi(t)\rangle = |\psi(-t)\rangle$$

$$q_i \text{ — набор зарядов, } \hat{\mathcal{C}} |\psi(q_i)\rangle = |\psi(-q_i)\rangle$$

Собственные состояния:

\mathcal{P} -, \mathcal{T} -, и \mathcal{C} - симметрии

Определение преобразований:

$$\hat{\mathcal{P}} |\psi(\vec{x})\rangle = |\psi(-\vec{x})\rangle$$

$$\hat{\mathcal{T}} |\psi(t)\rangle = |\psi(-t)\rangle$$

$$q_i \text{ — набор зарядов, } \hat{\mathcal{C}} |\psi(q_i)\rangle = |\psi(-q_i)\rangle$$

Собственные состояния:

$$\hat{\mathcal{P}} |\psi(\vec{x})\rangle = \pm |\psi(\vec{x})\rangle$$

\mathcal{P} -, \mathcal{T} -, и \mathcal{C} - симметрии

Определение преобразований:

$$\hat{\mathcal{P}} |\psi(\vec{x})\rangle = |\psi(-\vec{x})\rangle$$

$$\hat{\mathcal{T}} |\psi(t)\rangle = |\psi(-t)\rangle$$

$$q_i \text{ — набор зарядов, } \hat{\mathcal{C}} |\psi(q_i)\rangle = |\psi(-q_i)\rangle$$

Собственные состояния:

$$\hat{\mathcal{P}} |\psi(\vec{x})\rangle = \pm |\psi(\vec{x})\rangle$$

$$\hat{\mathcal{T}} |\psi(t)\rangle = \pm |\psi(t)\rangle$$

\mathcal{P} -, \mathcal{T} -, и \mathcal{C} - симметрии

Определение преобразований:

$$\hat{\mathcal{P}} |\psi(\vec{x})\rangle = |\psi(-\vec{x})\rangle$$

$$\hat{\mathcal{T}} |\psi(t)\rangle = |\psi(-t)\rangle$$

$$q_i \text{ — набор зарядов, } \hat{\mathcal{C}} |\psi(q_i)\rangle = |\psi(-q_i)\rangle$$

Собственные состояния:

$$\hat{\mathcal{P}} |\psi(\vec{x})\rangle = \pm |\psi(\vec{x})\rangle$$

$$\hat{\mathcal{T}} |\psi(t)\rangle = \pm |\psi(t)\rangle$$

$$\hat{\mathcal{C}} |\psi(q_i = 0)\rangle = \pm |\psi\rangle$$

\mathcal{P} -, \mathcal{T} -, и \mathcal{C} - симметрии

Определение преобразований:

$$\hat{\mathcal{P}} |\psi(\vec{x})\rangle = |\psi(-\vec{x})\rangle$$

$$\hat{\mathcal{T}} |\psi(t)\rangle = |\psi(-t)\rangle$$

$$q_i \text{ — набор зарядов, } \hat{\mathcal{C}} |\psi(q_i)\rangle = |\psi(-q_i)\rangle$$

Собственные состояния:

$$\hat{\mathcal{P}} |\psi(\vec{x})\rangle = \pm |\psi(\vec{x})\rangle$$

$$\hat{\mathcal{T}} |\psi(t)\rangle = \pm |\psi(t)\rangle$$

$$\hat{\mathcal{C}} |\psi(q_i = 0)\rangle = \pm |\psi\rangle$$

\mathcal{CPT} -теорема:

\mathcal{P} -, \mathcal{T} -, и \mathcal{C} - симметрии

Определение преобразований:

$$\hat{\mathcal{P}} |\psi(\vec{x})\rangle = |\psi(-\vec{x})\rangle$$

$$\hat{\mathcal{T}} |\psi(t)\rangle = |\psi(-t)\rangle$$

$$q_i \text{ — набор зарядов, } \hat{\mathcal{C}} |\psi(q_i)\rangle = |\psi(-q_i)\rangle$$

Собственные состояния:

$$\hat{\mathcal{P}} |\psi(\vec{x})\rangle = \pm |\psi(\vec{x})\rangle$$

$$\hat{\mathcal{T}} |\psi(t)\rangle = \pm |\psi(t)\rangle$$

$$\hat{\mathcal{C}} |\psi(q_i = 0)\rangle = \pm |\psi\rangle$$

\mathcal{CPT} -теорема:

$$\mathcal{CPT} = 1$$

Пи- и К- мезоны

Пионы (π -мезоны)

Квантовая
физика

А. Рабусов

Квантовая
механика

Введение

Статические
постулаты

Двухщелевой опыт

Квантовая
теория поля

Дискретные
симметрии

CP симметрия

Стандартная модель

Экспериментальные
установки

Заключение

Пи- и К- мезоны

Пионы (π -мезоны)

π^+ , π^0 , и π^- — частицы-переносчики ядерного взаимодействия

Квантовая
физика

А. Рабусов

Квантовая
механика

Введение

Статические
постулаты

Двухщелевой опыт

Квантовая
теория поля

Дискретные
симметрии

CP симметрия

Стандартная модель

Экспериментальные
установки

Заключение

Пионы (π -мезоны)

π^+ , π^0 , и π^- — частицы-переносчики ядерного взаимодействия

Масса $m(\pi) \approx 270 m(e)$

Пионы (π -мезоны)

π^+ , π^0 , и π^- — частицы-переносчики ядерного взаимодействия

Масса $m(\pi) \approx 270 m(e)$

Время жизни $\tau(\pi^\pm) \approx 2 \cdot 10^{-8} \text{ с}$, $\tau(\pi^0) \approx 10^{-16} \text{ с}$

Пионы (π -мезоны)

π^+ , π^0 , и π^- — частицы-переносчики ядерного взаимодействия

Масса $m(\pi) \approx 270 m(e)$

Время жизни $\tau(\pi^\pm) \approx 2 \cdot 10^{-8} \text{ с}$, $\tau(\pi^0) \approx 10^{-16} \text{ с}$

$$\hat{\mathcal{P}} |\pi^0\rangle = -|\pi^0\rangle$$

Пионы (π -мезоны)

π^+ , π^0 , и π^- — частицы-переносчики ядерного взаимодействия

Масса $m(\pi) \approx 270 m(e)$

Время жизни $\tau(\pi^\pm) \approx 2 \cdot 10^{-8} \text{ с}$, $\tau(\pi^0) \approx 10^{-16} \text{ с}$

$$\hat{P} |\pi^0\rangle = -|\pi^0\rangle$$

$$\hat{P} |\pi^+\pi^-, l\rangle = (-1)^l |\pi^+\pi^-, l\rangle$$

Пионы (π -мезоны)

π^+ , π^0 , и π^- — частицы-переносчики ядерного взаимодействия

Масса $m(\pi) \approx 270 m(e)$

Время жизни $\tau(\pi^\pm) \approx 2 \cdot 10^{-8} \text{ с}$, $\tau(\pi^0) \approx 10^{-16} \text{ с}$

$$\hat{P} |\pi^0\rangle = -|\pi^0\rangle$$

$$\hat{P} |\pi^+\pi^-, l\rangle = (-1)^l |\pi^+\pi^-, l\rangle$$

Каоны (К-мезоны)

Пионы (π -мезоны)

π^+ , π^0 , и π^- — частицы-переносчики ядерного взаимодействия

Масса $m(\pi) \approx 270 m(e)$

Время жизни $\tau(\pi^\pm) \approx 2 \cdot 10^{-8} \text{ с}$, $\tau(\pi^0) \approx 10^{-16} \text{ с}$

$$\hat{P} |\pi^0\rangle = -|\pi^0\rangle$$

$$\hat{P} |\pi^+\pi^-, l\rangle = (-1)^l |\pi^+\pi^-, l\rangle$$

Каоны (К-мезоны)

Масса $m(K) \approx 970 m(e)$

Пи- и К- мезоны

Пионы (π -мезоны)

π^+ , π^0 , и π^- — частицы-переносчики ядерного взаимодействия

Масса $m(\pi) \approx 270 m(e)$

Время жизни $\tau(\pi^\pm) \approx 2 \cdot 10^{-8} \text{ с}$, $\tau(\pi^0) \approx 10^{-16} \text{ с}$

$$\hat{P} |\pi^0\rangle = -|\pi^0\rangle$$

$$\hat{P} |\pi^+\pi^-, l\rangle = (-1)^l |\pi^+\pi^-, l\rangle$$

Каоны (К-мезоны)

Масса $m(K) \approx 970 m(e)$

Время жизни $\tau(K^\pm) \approx 10^{-8} \text{ с}$

Пионы (π -мезоны)

π^+ , π^0 , и π^- — частицы-переносчики ядерного взаимодействия

Масса $m(\pi) \approx 270 m(e)$

Время жизни $\tau(\pi^\pm) \approx 2 \cdot 10^{-8} \text{ с}$, $\tau(\pi^0) \approx 10^{-16} \text{ с}$

$$\hat{P} |\pi^0\rangle = -|\pi^0\rangle$$

$$\hat{P} |\pi^+\pi^-, l\rangle = (-1)^l |\pi^+\pi^-, l\rangle$$

Каоны (К-мезоны)

Масса $m(K) \approx 970 m(e)$

Время жизни $\tau(K^\pm) \approx 10^{-8} \text{ с}$

Нейтральные каоны несут скрытый заряд, поэтому $\overline{K^0} \neq K^0$

Пионы (π -мезоны)

π^+ , π^0 , и π^- — частицы-переносчики ядерного взаимодействия

Масса $m(\pi) \approx 270 m(e)$

Время жизни $\tau(\pi^\pm) \approx 2 \cdot 10^{-8} \text{ с}$, $\tau(\pi^0) \approx 10^{-16} \text{ с}$

$$\hat{P} |\pi^0\rangle = -|\pi^0\rangle$$

$$\hat{P} |\pi^+\pi^-, l\rangle = (-1)^l |\pi^+\pi^-, l\rangle$$

Каоны (К-мезоны)

Масса $m(K) \approx 970 m(e)$

Время жизни $\tau(K^\pm) \approx 10^{-8} \text{ с}$

Нейтральные каоны несут скрытый заряд, поэтому $\overline{K^0} \neq K^0$

Собственные комбинации для операторов чётности: $K^0 \pm \overline{K^0} = K_S, K_L$

Пионы (π -мезоны)

π^+ , π^0 , и π^- — частицы-переносчики ядерного взаимодействия

Масса $m(\pi) \approx 270 m(e)$

Время жизни $\tau(\pi^\pm) \approx 2 \cdot 10^{-8} \text{ с}$, $\tau(\pi^0) \approx 10^{-16} \text{ с}$

$$\hat{P} |\pi^0\rangle = -|\pi^0\rangle$$

$$\hat{P} |\pi^+\pi^-, l\rangle = (-1)^l |\pi^+\pi^-, l\rangle$$

Каоны (К-мезоны)

Масса $m(K) \approx 970 m(e)$

Время жизни $\tau(K^\pm) \approx 10^{-8} \text{ с}$

Нейтральные каоны несут скрытый заряд, поэтому $\overline{K^0} \neq K^0$

Собственные комбинации для операторов чётности: $K^0 \pm \overline{K^0} = K_S, K_L$

$K_S \rightarrow \pi^+\pi^-$ ($\tau \approx 10^{-10} \text{ с}$, $\mathcal{CP} = 1$)

Пионы (π -мезоны)

π^+ , π^0 , и π^- — частицы-переносчики ядерного взаимодействия

Масса $m(\pi) \approx 270 m(e)$

Время жизни $\tau(\pi^\pm) \approx 2 \cdot 10^{-8} \text{ с}$, $\tau(\pi^0) \approx 10^{-16} \text{ с}$

$$\hat{P} |\pi^0\rangle = -|\pi^0\rangle$$

$$\hat{P} |\pi^+\pi^-, l\rangle = (-1)^l |\pi^+\pi^-, l\rangle$$

Каоны (К-мезоны)

Масса $m(K) \approx 970 m(e)$

Время жизни $\tau(K^\pm) \approx 10^{-8} \text{ с}$

Нейтральные каоны несут скрытый заряд, поэтому $\overline{K}^0 \neq K^0$

Собственные комбинации для операторов чётности: $K^0 \pm \overline{K}^0 = K_S, K_L$

$K_S \rightarrow \pi^+\pi^-$ ($\tau \approx 10^{-10} \text{ с}$, $\mathcal{CP} = 1$)

$K_L \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$ ($\tau \approx 5 \cdot 10^{-8} \text{ с}$, $\mathcal{CP} = -1$)

Пионы (π -мезоны)

π^+ , π^0 , и π^- — частицы-переносчики ядерного взаимодействия

Масса $m(\pi) \approx 270 m(e)$

Время жизни $\tau(\pi^\pm) \approx 2 \cdot 10^{-8} \text{ с}$, $\tau(\pi^0) \approx 10^{-16} \text{ с}$

$$\hat{P} |\pi^0\rangle = -|\pi^0\rangle$$

$$\hat{P} |\pi^+\pi^-, l\rangle = (-1)^l |\pi^+\pi^-, l\rangle$$

Каоны (К-мезоны)

Масса $m(K) \approx 970 m(e)$

Время жизни $\tau(K^\pm) \approx 10^{-8} \text{ с}$

Нейтральные каоны несут скрытый заряд, поэтому $\overline{K^0} \neq K^0$

Собственные комбинации для операторов чётности: $K^0 \pm \overline{K^0} = K_S, K_L$

$K_S \rightarrow \pi^+\pi^-$ ($\tau \approx 10^{-10} \text{ с}$, $\mathcal{CP} = 1$)

$K_L \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$ ($\tau \approx 5 \cdot 10^{-8} \text{ с}$, $\mathcal{CP} = -1$)

Осцилляции нейтральных каонов: $\overline{K^0} \rightarrow K^0$

Пионы (π -мезоны)

π^+ , π^0 , и π^- — частицы-переносчики ядерного взаимодействия

Масса $m(\pi) \approx 270 m(e)$

Время жизни $\tau(\pi^\pm) \approx 2 \cdot 10^{-8} \text{ с}$, $\tau(\pi^0) \approx 10^{-16} \text{ с}$

$$\hat{P} |\pi^0\rangle = -|\pi^0\rangle$$

$$\hat{P} |\pi^+\pi^-, l\rangle = (-1)^l |\pi^+\pi^-, l\rangle$$

Каоны (К-мезоны)

Масса $m(K) \approx 970 m(e)$

Время жизни $\tau(K^\pm) \approx 10^{-8} \text{ с}$

Нейтральные каоны несут скрытый заряд, поэтому $\overline{K}^0 \neq K^0$

Собственные комбинации для операторов чётности: $K^0 \pm \overline{K}^0 = K_S, K_L$

$K_S \rightarrow \pi^+\pi^-$ ($\tau \approx 10^{-10} \text{ с}$, $\mathcal{CP} = 1$)

$K_L \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$ ($\tau \approx 5 \cdot 10^{-8} \text{ с}$, $\mathcal{CP} = -1$)

Осцилляции нейтральных каонов: $\overline{K}^0 \rightarrow K^0$

Регенерация K_S в веществе

Пионы (π -мезоны)

π^+ , π^0 , и π^- — частицы-переносчики ядерного взаимодействия

Масса $m(\pi) \approx 270 m(e)$

Время жизни $\tau(\pi^\pm) \approx 2 \cdot 10^{-8} \text{ с}$, $\tau(\pi^0) \approx 10^{-16} \text{ с}$

$$\hat{P} |\pi^0\rangle = -|\pi^0\rangle$$

$$\hat{P} |\pi^+\pi^-, l\rangle = (-1)^l |\pi^+\pi^-, l\rangle$$

Каоны (К-мезоны)

Масса $m(K) \approx 970 m(e)$

Время жизни $\tau(K^\pm) \approx 10^{-8} \text{ с}$

Нейтральные каоны несут скрытый заряд, поэтому $\overline{K}^0 \neq K^0$

Собственные комбинации для операторов чётности: $K^0 \pm \overline{K}^0 = K_S, K_L$

$K_S \rightarrow \pi^+\pi^-$ ($\tau \approx 10^{-10} \text{ с}$, $\mathcal{CP} = 1$)

$K_L \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$ ($\tau \approx 5 \cdot 10^{-8} \text{ с}$, $\mathcal{CP} = -1$)

Осцилляции нейтральных каонов: $\overline{K}^0 \rightarrow K^0$

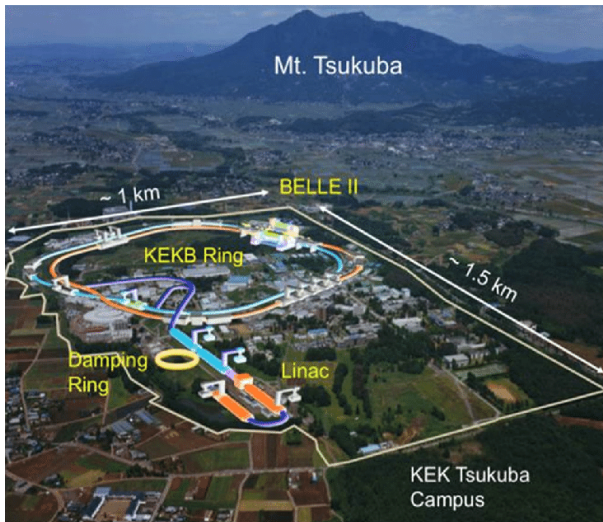
Регенерация K_S в веществе

Нарушение \mathcal{CP} -симметрии (а, следовательно, и нарушение \mathcal{T} -симметрии)

Элементарные частицы

<div>QUARKS</div>	mass → $\approx 2.3 \text{ MeV}/c^2$ charge → $2/3$ spin → $1/2$ <div>u</div> up	mass → $\approx 1.275 \text{ GeV}/c^2$ charge → $2/3$ spin → $1/2$ <div>c</div> charm	mass → $\approx 173.07 \text{ GeV}/c^2$ charge → $2/3$ spin → $1/2$ <div>t</div> top	mass → 0 charge → 0 spin → 1 <div>g</div> gluon	mass → $\approx 126 \text{ GeV}/c^2$ charge → 0 spin → 0 <div>H</div> Higgs boson
	mass → $\approx 4.8 \text{ MeV}/c^2$ charge → $-1/3$ spin → $1/2$ <div>d</div> down	mass → $\approx 95 \text{ MeV}/c^2$ charge → $-1/3$ spin → $1/2$ <div>s</div> strange	mass → $\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2$ charge → $-1/3$ spin → $1/2$ <div>b</div> bottom	mass → 0 charge → 0 spin → 1 <div>γ</div> photon	
	mass → $0.511 \text{ MeV}/c^2$ charge → -1 spin → $1/2$ <div>e</div> electron	mass → $105.7 \text{ MeV}/c^2$ charge → -1 spin → $1/2$ <div>μ</div> muon	mass → $1.777 \text{ GeV}/c^2$ charge → -1 spin → $1/2$ <div>τ</div> tau	mass → $91.2 \text{ GeV}/c^2$ charge → 0 spin → 1 <div>Z</div> Z boson	
	mass → $< 2.2 \text{ eV}/c^2$ charge → 0 spin → $1/2$ <div>ν_e</div> electron neutrino	mass → $< 0.17 \text{ MeV}/c^2$ charge → 0 spin → $1/2$ <div>ν_μ</div> muon neutrino	mass → $< 15.5 \text{ MeV}/c^2$ charge → 0 spin → $1/2$ <div>ν_τ</div> tau neutrino	mass → $80.4 \text{ GeV}/c^2$ charge → ± 1 spin → 1 <div>W</div> W boson	<div>GAUGE BOSONS</div>

e^+e^- коллайдер KEKB



Квантовая
физика

А. Рабусов

Квантовая
механика

Введение

Статические
постулаты

Двухщелевой опыт

Квантовая
теория поля

Дискретные
симметрии

CP симметрия

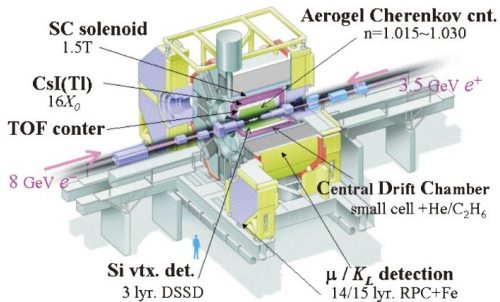
Стандартная модель

Экспериментальные
установки

Заключение

Детектор Белль

Belle Detector



Квантовая
физика

А. Рабусов

Квантовая
механика

Введение

Статические
постулаты

Двухщелевой опыт

Квантовая
теория поля

Дискретные
симметрии

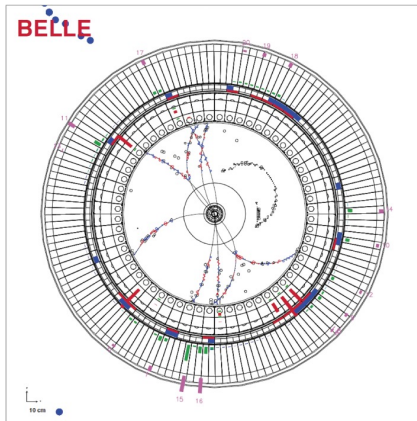
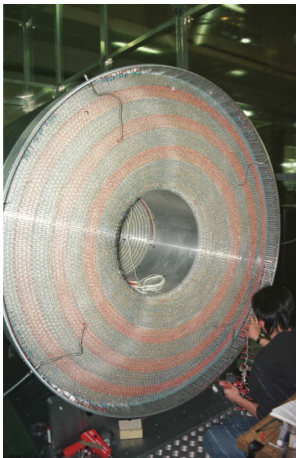
CP симметрия

Стандартная модель

Экспериментальные
установки

Закключение

Дрейфовая камера

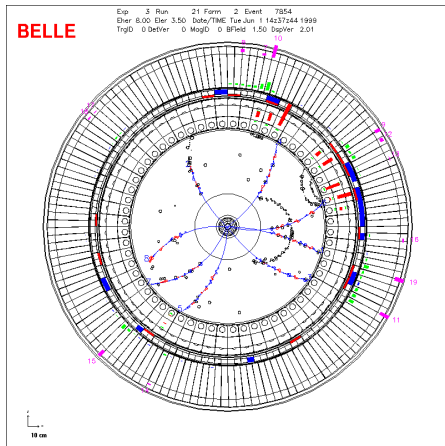


Event display

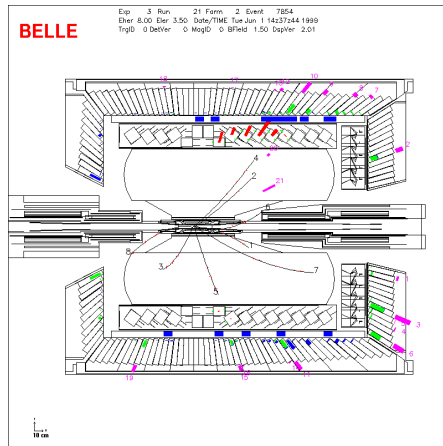
Событие в детекторе

Квантовая
физика

А. Рабусов



X Y -проекция



Y Z -проекция

Квантовая
механика

Введение

Статические
постулаты

Двухщелевой опыт

Квантовая
теория поля

Дискретные
симметрии

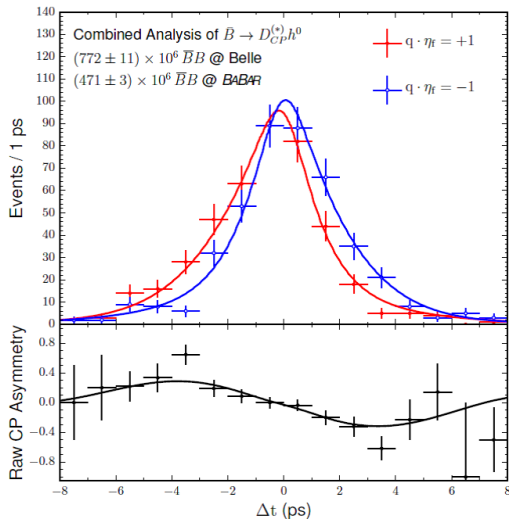
CP симметрия

Стандартная модель

Экспериментальные
установки

Закключение

Нарушение \mathcal{T} -симметрии



Вместо выводов

Что ещё имеет смысл рассмотреть:

No-cloning theorem

Интерпретации квантовой механики

Квантовый осциллятор

Понятие орбитального момента и спина

Ссылки на источники:

Курс Н. Никитина на ФФ МГУ «Матрица плотности»

Коллаборация Белль

Fumihiko TAKASAKI “The discovery of CP violation in B-meson decays”