# Квантовая физика Введение

Андрей Рабусов

27 декабря 2020

### Квантовая физика

А. Рабусов

Квантовая

Введение

Статические постулаты

Двухщелевой опыт

Квантовая

Дискретные

CP симметрия

Стандартная мол

Экспериментальные установки

# Содержание

### Квантовая механика

Введение Статические постулаты Двухщелевой опыт

### Квантовая теория поля

Дискретные симметрии  $\mathcal{CP}$  симметрия Стандартная модель Экспериментальные установки

Заключение

### Квантовая физика

А. Рабусов

вантовая

D----

....

тостулаты

Двухщелевои ог

Квантовая

теория пол

имметрии

 $\mathcal{CP}$  симметрия

тандартная модель

)кспериментальнь становки

Поле комплексных чисел €

### Квантовая физика

А. Рабусов

(вантовая

#### Введение

Статические

Двухщелевой опыт

#### Квантовая геория пол

Дискретные симметрии

 $\mathcal{CP}$  симметрия

Экспериментальные установки

# Поле комплексных чисел $\mathbb{C}$ $i^2=-1$

Квантовая физика

А. Рабусов

Квантовая

Введение

Статические

Двухщелевой опыт

Квантовая

Дискретные симметрии

 $\mathcal{CP}$  симметрия

Экспериментальные установки

### Поле комплексных чисел €

$$i^2 = -1$$
  
  $z = x + i y, z^* = x - i y$ 

### Квантовая физика

А. Рабусов

Квантовая механика

#### Введение

Статические постулаты

Двухщелевой опыт

#### Квантовая геория пол:

Дискретные симметрии

 $\mathcal{CP}$  симметрия

Экспериментальные установки

### Поле комплексных чисел €

$$i^{2} = -1$$

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

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

### Квантовая физика

А. Рабусов

Квантовая

Введение

Статические

Двухщелевой опыт

Квантовая геория пол

Дискретные

 $\mathcal{CP}$  симметрия

Стандартная модель Экспериментальные установки

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  ${\mathbb C}$ 

### Квантовая физика

А. Рабусов

(вантовая

Введение

Статические

Двухщелевой опыт

(вантовая геория поля

симметрии

 $\mathcal{CP}$  симметрия

Экспериментальные установки

Поле комплексных чисел €

$$i^{2} = -1$$

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

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

Гильбертово пространство  $\mathcal H$  над полем комплексных чисел  $\mathbb C$  Линейное векторное пространство

#### Квантовая физика

А. Рабусов

Квантовая

Введение

Статические постулаты

Двухщелевой опыт

Квантовая

Дискретные симметрии

 $\mathcal{CP}$  симметрия

Экспериментальные установки

Поле комплексных чисел €

$$\begin{aligned} i^2 &= -1 \\ z &= x + i \, y, \, z^* = x - i \, y \\ e^{i\varphi} &= \cos \varphi + i \sin \varphi \end{aligned}$$

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

Линейное векторное пространство

Определено скалярное произведение для любой пары векторов  ${f u}$  и  ${f v}$ :

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

#### Квантовая физика

А. Рабусов

Квантовая

Введение

Статические постулаты

Двухщелевой опы

Квантовая

Дискретные симметрии

 ${\cal CP}$  симметрия

Экспериментальные установки

Поле комплексных чисел €

$$i^{2} = -1$$

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

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

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

Линейное векторное пространство Определено скалярное произведение для любой пары векторов  ${f u}$  и  ${f v}$ :

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

Скалярное произведение порождает норму, например

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

# Квантовая физика

А. Рабусов

Квантовая

Введение

Статические постулаты

Двухщелевой опыт

Квантовая теория пол

Дискретные симметрии

CP симметрия

Экспериментальные установки

### Поле комплексных чисел €

$$i^{2} = -1$$

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

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

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

Определено скалярное произведение для любой пары векторов  ${f u}$  и  ${f v}$ :

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

Скалярное произведение порождает норму, например

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

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

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

Квантовая физика

А. Рабусов

вантовая

Введение

Статические постулаты

Двухщелевой опыт

Квантовая

искретные

CP симметрия

Экспериментальные установки

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

Квантовая физика

А. Рабусов

Квантовая механика

Статические

Двухщелевой опыт

Квантовая Геория поля

Дискретные симметрии

 $\mathcal{CP}$  симметрия

Экспериментальные установки

- П1 Чистое состояние системы  $|\psi\rangle$  описывается вектором гильбертова пространства  ${\mathcal H}$  над  ${\mathbb C}$
- $\sqcap$ 2 Чистое состояние  $|\psi
  angle$  задаётся только направлением вектора из  ${\cal H}$

#### Квантовая физика

А. Рабусов

Квантовая механика

Введение

Статические постулаты

Двухщелевой опыт

Квантовая геория поля

Цискретные симметрии

 $\mathcal{CP}$  симметрия

Экспериментальные установки

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

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

# Квантовая физика

А. Рабусов

(вантовая механика

Введение

Статические постулаты

Двухщелевой опы

Квантовая теория пол

Дискретные

 $\mathcal{CP}$  симметрия

Стандартная модель Экспериментальные установки

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

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

Эволюция замкнутой системы унитарна

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

#### Квантовая физика

А. Рабусов

(вантовая механика

Введение

постулаты

Двухщелевой опы-

теория по

симметрии

СР симметрия

Экспериментальные установки

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

Квантовая физика

А. Рабусов

вантовая

Введение

Статические постулаты

Двухщелевой опыт

(вантовая еория поля

Дискретные симметрии

 $\mathcal{CP}$  симметрия

Экспериментальные установки

Положим, что квантовая система до измерения в состоянии  $|\psi\rangle$  После многократных измерений при помощи макроприбора  $|\psi\rangle \to |\varphi_i\rangle$ 

Квантовая физика

А. Рабусов

(вантовая

Введение Статические

постулаты

двухщелевои опы-

Квантовая теория поля

Дискретные симметрии

 $\mathcal{CP}$  симметрия

Экспериментальные установки

Положим, что квантовая система до измерения в состоянии  $|\psi\rangle$  После многократных измерений при помощи макроприбора  $|\psi\rangle \to |\varphi_i\rangle$  различимы при помощи макроприбора, т. е.

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

#### Квантовая физика

А. Рабусов

Квантовая

Статические постулаты

Двухщелевой опыт

Квантовая теория поля

Дискретные

 ${\cal CP}$  симметрия

Экспериментальные установки

Положим, что квантовая система до измерения в состоянии  $|\psi\rangle$  После многократных измерений при помощи макроприбора  $|\psi\rangle \to |\varphi_i\rangle$   $|\varphi_i\rangle$  различимы при помощи макроприбора, т. е.

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

$$|\psi\rangle = \sum_{i} c_i |\varphi_i\rangle, \ c_i \in \mathbb{C}, \ c_i = \langle \varphi_i | \psi \rangle$$

#### Квантовая физика

А. Рабусов

Квантовая

Статические

Двухщелевой опыт

Квантовая

теория поля

симметрии СР симметрия

Стандартная моделі

Экспериментальные установки

Положим, что квантовая система до измерения в состоянии  $|\psi\rangle$  После многократных измерений при помощи макроприбора  $|\psi\rangle \to |\varphi_i\rangle$   $|\varphi_i\rangle$  различимы при помощи макроприбора, т. е.

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

$$|\psi\rangle = \sum_{i} c_i |\varphi_i\rangle, \ c_i \in \mathbb{C}, \ c_i = \langle \varphi_i | \psi \rangle$$

 $\hat{\mathbb{P}}_{arphi_i}$  Проекционный оператор  $\hat{\mathbb{P}}_{arphi_i} = \ket{\phi_i}ra{\phi_i}$ 

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

Квантовая физика

А. Рабусов

вантовая

Статические

Двухщелевой опы

Квантовая

теория пол

симметрии СР симметрия

тандартная модель

Экспериментальные установки

Положим, что квантовая система до измерения в состоянии  $|\psi\rangle$  После многократных измерений при помощи макроприбора  $|\psi\rangle \to |\varphi_i\rangle$   $|\varphi_i\rangle$  различимы при помощи макроприбора, т. е.

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

$$|\psi\rangle = \sum_{i} c_{i} |\varphi_{i}\rangle, \ c_{i} \in \mathbb{C}, \ c_{i} = \langle \varphi_{i} | \psi \rangle$$

 $\hat{\mathbb{P}}_{arphi_i}$  Проекционный оператор  $\hat{\mathbb{P}}_{arphi_i} = \ket{\phi_i} ra{\phi_i}$ 

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

$$\sum_{i} \hat{\mathbb{P}}_{\varphi_i} = \hat{\mathbb{1}}$$

Квантовая физика

А. Рабусов

Квантовая механика

Введение Статические постудаты

цвухщелевой опы

(вантовая

свантовая еория поля

симметрии СР симметрия

тандартная модель

Экспериментальные установки

 $\Pi$ 4 Физический смысл  $c_i$  (Макс Борн)

#### Квантовая физика

А. Рабусов

Квантовая

Введение Статические

постулаты
Двухщелевой опыт

Квантовая

теория пол

симметрии СР симметрия

Стандартная модель Экспериментальные установки

П4 Физический смысл  $c_i$  (Макс Борн) Пусть во время измерения  $|\psi
angle \to |arphi_i
angle$ 

### Квантовая физика

А. Рабусов

Квантовая механика

Введение Статические постулаты

Двухщелевой опыт

Квантовая теория поля

Дискретные

 $\mathcal{CP}$  симметрия

Экспериментальные установки

 $\Pi$ 4 Физический смысл  $c_i$  (Макс Борн)

Пусть во время измерения  $|\psi
angle o |arphi_i
angle$ 

Условная вероятность  $w_i$  обнаружить систему в состоянии i:

$$w_{i}=\left|c_{i}\right|^{2}=\left\langle \psi|\varphi_{i}\right\rangle \left\langle \varphi_{i}|\psi\right\rangle =\mathbb{Sp}\left\{ \hat{\mathbb{P}}_{\psi}\hat{\mathbb{P}}_{\varphi_{i}}\right\}$$

#### Квантовая физика

А. Рабусов

Квантовая механика

Статические

Статические постулаты

Двухщелевой опыт

Квантовая теория поля

симметрии

 ${\cal CP}$  симметрия

Экспериментальные установки

 $\Pi$ 4 Физический смысл  $c_i$  (Макс Борн)

Пусть во время измерения  $|\psi
angle o |arphi_i
angle$ 

Условная вероятность  $w_i$  обнаружить систему в состоянии i:

$$w_{i}=\left|c_{i}\right|^{2}=\left\langle \psi|\varphi_{i}\right\rangle \left\langle \varphi_{i}|\psi\right\rangle =\mathbb{Sp}\left\{ \hat{\mathbb{P}}_{\psi}\hat{\mathbb{P}}_{\varphi_{i}}\right\}$$

П5 Среднее наблюдаемого

#### Квантовая физика

А. Рабусов

Квантовая механика

Введение

Статические постулаты

Двухщелевой опыт

Квантовая теория пол:

Цискретные симметрии

 $\mathcal{CP}$  симметрия

тандартная модель кспериментальные

 $\Pi$ 4 Физический смысл  $c_i$  (Макс Борн)

Пусть во время измерения  $|\psi
angle o |arphi_i
angle$ 

Условная вероятность  $w_i$  обнаружить систему в состоянии i:

$$w_{i}=\left|c_{i}\right|^{2}=\left\langle \psi|\varphi_{i}\right\rangle \left\langle \varphi_{i}|\psi\right\rangle =\mathbb{Sp}\left\{ \hat{\mathbb{P}}_{\psi}\hat{\mathbb{P}}_{\varphi_{i}}\right\}$$

П5 Среднее наблюдаемого Набор наблюдаемых  $\{a_i\}$  (спектр,  $a_i\in\mathbb{R}$ )

Квантовая физика

А. Рабусов

Квантовая механика

Введение

Статические постулаты

Двухщелевой опыт

Квантовая теория поля

Цискретные симметрии

СР симметрия Стандартная модель

Экспериментальные установки

 $\Pi$ 4 Физический смысл  $c_i$  (Макс Борн)

Пусть во время измерения  $|\psi
angle o |arphi_i
angle$ 

Условная вероятность  $w_i$  обнаружить систему в состоянии i:

$$w_{i}=\left|c_{i}\right|^{2}=\left\langle \psi|\varphi_{i}\right\rangle \left\langle \varphi_{i}|\psi\right\rangle =\mathbb{Sp}\left\{ \hat{\mathbb{P}}_{\psi}\hat{\mathbb{P}}_{\varphi_{i}}\right\}$$

П5 Среднее наблюдаемого

Набор наблюдаемых  $\{a_i\}$  (спектр,  $a_i \in \mathbb{R}$ )  $\hat{\mathbb{A}} | a_i \rangle = a_i | a_i \rangle$   $\hat{\mathbb{A}}$  — эрмитовский оператор

 $\hat{\mathbb{A}}\ket{a_i}=a_i\ket{a_i}$ ,  $\hat{\mathbb{A}}$  — эрмитовский оператор,  $\ket{a_i}$  — собственные состояния оператора  $\hat{\mathbb{A}}$ 

Квантовая физика

А. Рабусов

вантовая

Введение

Статические постулаты

Двухщелевой опыт

Свантовая геория поля

симметрии

СР симметрия
Стандартная модель

Экспериментальные установки

 $\Pi$ 4 Физический смысл  $c_i$  (Макс Борн)

Пусть во время измерения  $|\psi
angle o |arphi_i
angle$ 

Условная вероятность  $w_i$  обнаружить систему в состоянии i:

$$w_{i}=\left|c_{i}\right|^{2}=\left\langle \psi|\varphi_{i}\right\rangle \left\langle \varphi_{i}|\psi\right\rangle =\mathbb{Sp}\left\{ \hat{\mathbb{P}}_{\psi}\hat{\mathbb{P}}_{\varphi_{i}}\right\}$$

### П5 Среднее наблюдаемого

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

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

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

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

#### Квантовая физика

А. Рабусов

вантовая

Preneuma

Статические постулаты

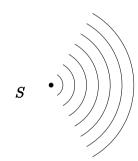
Двухщелевой опыт

Квантовая теория поля

симметрии СР симметрия

тандартная модель

Экспериментальные установки



#### Квантовая физика

А. Рабусов

Квантовая механика

Введение Статические

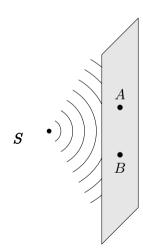
Двухщелевой опыт

Квантовая

Дискретные

CP симметри

Экспериментальные



### Квантовая физика

А. Рабусов

Квантовая

Введение

постулаты

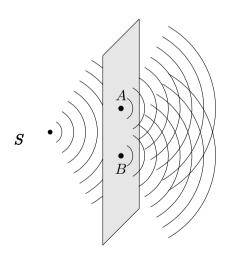
Двухщелевой опыт

Квантовая теория поля

Дискретные симметрии

СР симметрия

Экспериментальные



#### Квантовая физика

А. Рабусов

Квантовая механика

Введение

Двухщелевой опыт

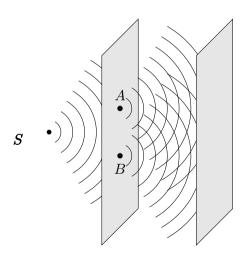
Квантовая

теория пол: Дискретные

симметрии СР симметри

Стандартная модель

Экспериментальные установки



#### Квантовая физика

А. Рабусов

Квантовая механика

Введение

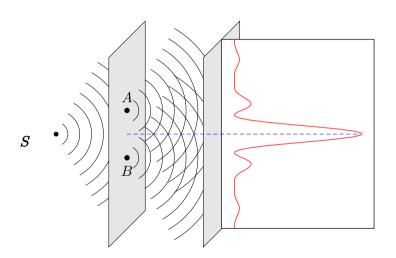
Двухщелевой опыт

Квантовая

теория поля Дискретные

симметрии СР симметри

Стандартная модель Экспериментальные



Квантовая физика

А. Рабусов

Квантовая

Введение

Статические постулаты

Двухщелевой опыт

Квантовая

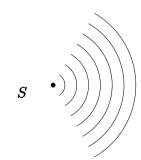
теория поля Дискретные

симметрии

Сусимметрия

Экспериментальные

# Дополнительный детектор у щели A — дифракция



Квантовая физика

А. Рабусов

Квантовая

Введение

постулаты

Двухщелевой опыт

Квантовая теория поля

Дискретные симметрии

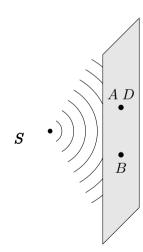
 $\mathcal{CP}$  симметрия

Стандартная модель

Экспериментальные установки

Ваключение

# Дополнительный детектор у щели A — дифракция



Квантовая физика

А. Рабусов

Квантовая

Введение

Двухщелевой опыт

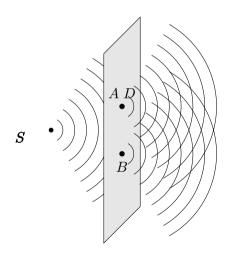
Квантовая

Дискретные симметрии

 $\mathcal{CP}$  симметрия

Экспериментальные установки

# Дополнительный детектор у щели A — дифракция



Квантовая физика

А. Рабусов

Квантовая механика

Введение

Двухщелевой опыт

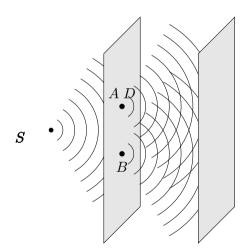
Квантовая

Дискретные

СР симметрия

Экспериментальные установки

# Дополнительный детектор у щели A — дифракция



Квантовая физика

А. Рабусов

Квантовая

Введение

Двухщелевой опыт

Квантовая

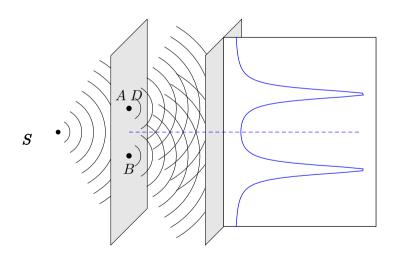
Дискретные

CP симметрия

Сусимметрия

Экспериментальные установки

# Дополнительный детектор у щели A — дифракция



Квантовая физика

А. Рабусов

Квантовая

Введение

постулаты

Двухщелевой опыт

Квантовая

теория поля

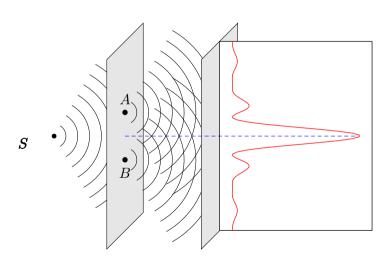
симметрии СР симметрия

СР симметрия

Экспериментальные установки

Ваключение

# Волновое поведение



Квантовая физика

А. Рабусов

Квантовая

Введение

Статические постулаты

Двухщелевой опыт

Квантовая

теория поля Дискретные

симметрии

СР симметрия

Экспериментальные

Классическое описание:

Квантовая физика

А. Рабусов

Квантовая механика

Введение Статические

Двухщелевой опыт

Квантовая теория поля

Дискретные

 $\mathcal{CP}$  симметрия

Стандартная модель Экспериментальные установки

Классическое описание:

Событие A — фотон прошёл через щель A

Квантовая физика

А. Рабусов

Квантовая механика

Введение Статические

Двухщелевой опыт

Квантовая теория поля

Дискретные симметрии

 ${\cal CP}$  симметрия

Экспериментальные установки

#### Классическое описание:

Событие A — фотон прошёл через щель A Событие B — фотон прошёл через щель B

Квантовая физика

А. Рабусов

Квантовая иеханика

Введение Статические

Двухщелевой опыт

Квантовая

Дискретные симметрии

 $\mathcal{CP}$  симметрия

Экспериментальные

#### 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

#### Квантовая физика

А. Рабусов

Квантовая механика

Введение

Двухщелевой опыт

Квантовая

теория пол

симметрии СР симметрия

Стандартная модел

Экспериментальные установки

#### 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:

$$w\left\{C(x)\,\mathsf{n}\,\left[A\,\mathsf{n}\mathsf{n}\mathsf{n}\,B
ight]
ight\}=w\left\{\left[C(x)\,\mathsf{n}\,A
ight]\,\mathsf{n}\mathsf{n}\mathsf{n}\,\left[C(x)\,\mathsf{n}\,B
ight]
ight\}$$

#### Квантовая физика

А. Рабусов

(вантовая пеханика

Введение Статические

Двухшелевой опыт

Квантовая

Цискретные симметрии

 $\mathcal{CP}$  симметрия

Экспериментальные установки

#### 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:

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

Квантовое описание:

#### Квантовая физика

А. Рабусов

(вантовая веханика

Введение

постулаты

Двухщелевой опыт

Квантовая теория пол

симметрии

CP симметрия

Стандартная модель Экспериментальные

#### 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:

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

#### Квантовое описание:

$$w\left\{C(x)\,\mathsf{u}\,\left[A\,\mathsf{u}\mathsf{л}\mathsf{u}\,B
ight]
ight\}$$
 — интерференция

# Квантовая физика

А. Рабусов

Квантовая механика

Статические

Двухщелевой опыт

**Квантовая** теория пол

симметрии

СР симметрия
Стандартная модел

Экспериментальные установки

#### 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:

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

## Квантовое описание:

$$w\left\{C(x)$$
 и  $[A$  или  $B]
ight\}$  — интерференция  $w\left\{\left[C(x)$  и  $A\right]$  или  $\left[C(x)$  и  $B\right]
ight\}$  — дифракция

#### Квантовая физика

А. Рабусов

Квантовая механика

Введение Статические

Двухшелевой опыт

Квантовая теория поля

> Цискретные имметрии

CP симметрия

Экспериментальные установки

#### 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:

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

## Квантовое описание:

$$w\left\{C(x) \text{ и } [A \text{ или } B]\right\} - \text{ интерференция}$$
 
$$w\left\{\left[C(x) \text{ и } A\right] \text{ или } \left[C(x) \text{ и } B\right]\right\} - \text{дифракция}$$
 
$$w\left\{C(x) \text{ и } [A \text{ или } B]\right\} \neq w\left\{\left[C(x) \text{ и } A\right] \text{ или } \left[C(x) \text{ и } B\right]\right\}$$

#### Квантовая физика

А. Рабусов

(вантовая механика

Введение Статические

Двухшелевой опыт

Квантовая

Цискретные :имметрии

CP симметрия

Экспериментальные установки

# Содержание раздела

Квантовая механика

## Квантовая теория поля

Дискретные симметрии  $\mathcal{CP}$  симметрия Стандартная модель Экспериментальные установки

Заключение

#### Квантовая физика

А. Рабусов

(вантовая леханика

Введение

Статические

Двухщелевой опыт

Квантовая теория поля

симметрии

CP симметрия

Экспериментальные

Экспериментальны установки

Опеределение преобразований:

Квантовая физика

А. Рабусов

Квантовая

Введение

Статические постулаты Двухщелевой опыт

Квантовая

Дискретные

CP симметрия

Стандартная модель

Экспериментальные установки

## Опеределение преобразований:

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

#### Квантовая физика

А. Рабусов

Квантовая механика

Введение

Статические постулаты
Двухщелевой опыт

Квантовая

Дискретные

 $\mathcal{CP}$  симметрия

Стандартная модель Экспериментальные

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

## Опеределение преобразований:

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

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

#### Квантовая физика

А. Рабусов

Квантовая механика

Введение

Статические постулаты

Двухщелевой опыт

Квантовая

Дискретные

симметрии СР симметрия

Стандартная модел Экспериментальные

установки

## Опеределение преобразований:

$$\hat{\mathcal{P}} \ket{\psi(ec{x})} = \ket{\psi(-ec{x})}$$
  $\hat{\mathcal{T}} \ket{\psi(t)} = \ket{\psi(-t)}$   $q_i$  — набор зарядов,  $\hat{\mathcal{C}} \ket{\psi(q_i)} = \ket{\psi(-q_i)}$ 

#### Квантовая физика

А. Рабусов

Квантовая механика

Введение

постулаты
Двухщелевой опыт

Квантовая теория поля

#### теория пол Дискретные симметрии

CP симметрия

Стандартная модель Экспериментальные

Опеределение преобразований:

$$\hat{\mathcal{P}}\ket{\psi(ec{x})}=\ket{\psi(-ec{x})}$$
  $\hat{\mathcal{T}}\ket{\psi(t)}=\ket{\psi(-t)}$   $q_i$  — набор зарядов,  $\hat{\mathcal{C}}\ket{\psi(q_i)}=\ket{\psi(-q_i)}$ 

Собственные состояния:

#### Квантовая физика

А. Рабусов

Квантовая механика

Введение

Статические постулаты

Квантовая теория поля

Теория пол Дискретные симметрии

 $\mathcal{CP}$  симметрия

Стандартная моделі Экспериментальные

## Опеределение преобразований:

$$\hat{\mathcal{P}}\ket{\psi(ec{x})}=\ket{\psi(-ec{x})}$$
  $\hat{\mathcal{T}}\ket{\psi(t)}=\ket{\psi(-t)}$   $q_i$  — набор зарядов,  $\hat{\mathcal{C}}\ket{\psi(q_i)}=\ket{\psi(-q_i)}$ 

## Собственные состояния:

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

#### Квантовая физика

#### А. Рабусов

Квантовая механика

Введение

Статические постулаты

Двухщелевой опь

Квантовая

# Дискретные

CP симметрия

Стандартная моделі

2-----

## Опеределение преобразований:

$$\hat{\mathcal{P}}\ket{\psi(ec{x})}=\ket{\psi(-ec{x})}$$
  $\hat{\mathcal{T}}\ket{\psi(t)}=\ket{\psi(-t)}$   $q_i$  — набор зарядов,  $\hat{\mathcal{C}}\ket{\psi(q_i)}=\ket{\psi(-q_i)}$ 

## Собственные состояния:

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

#### Квантовая физика

А. Рабусов

Квантовая механика

Статические

постулаты
Двухщелевой опы

Квантовая

теория поля Дискретные

симметрии СР симметрия

Стандартная моделі Экспериментальные

## Опеределение преобразований:

$$\hat{\mathcal{P}} \ket{\psi(ec{x})} = \ket{\psi(-ec{x})}$$
  $\hat{\mathcal{T}} \ket{\psi(t)} = \ket{\psi(-t)}$   $q_i$  — набор зарядов,  $\hat{\mathcal{C}} \ket{\psi(q_i)} = \ket{\psi(-q_i)}$ 

## Собственные состояния:

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

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

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

#### Квантовая физика

#### А. Рабусов

Квантовая механика

Введение

Статические постулаты

Квантовая

теория поля

#### Дискретные симметрии

 $\mathcal{CP}$  симметрия

Экспериментальные

## Опеределение преобразований:

$$\hat{\mathcal{P}} \ket{\psi(ec{x})} = \ket{\psi(-ec{x})}$$
  $\hat{\mathcal{T}} \ket{\psi(t)} = \ket{\psi(-t)}$   $q_i$  — набор зарядов,  $\hat{\mathcal{C}} \ket{\psi(q_i)} = \ket{\psi(-q_i)}$ 

#### 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:

#### Квантовая физика

#### А. Рабусов

Квантовая механика

Введение

Статические постулаты

Двухщелевой опы

Квантовая

теория поля Лискретные

#### симметрии СР симметрия

Стандартная модель

Экспериментальные установки

## Опеределение преобразований:

$$\hat{\mathcal{P}} \ket{\psi(ec{x})} = \ket{\psi(-ec{x})}$$
  $\hat{\mathcal{T}} \ket{\psi(t)} = \ket{\psi(-t)}$   $q_i$  — набор зарядов,  $\hat{\mathcal{C}} \ket{\psi(q_i)} = \ket{\psi(-q_i)}$ 

## 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:

$$\mathcal{CPT} = 1$$

#### Квантовая физика

#### А. Рабусов

#### Квантовая механика

#### Введение

## Статические

#### Двухщелевой опы

#### Квантовая

#### теория пол. Дискретные

#### симметрии СР симметрия

#### Стандартная модель

#### Экспериментальные установки

Пионы ( $\pi$ -мезоны)

#### Квантовая физика

А. Рабусов

Квантовая

Введение

Статические постулаты Двухщелевой опыт

. Вантовая еория поля

Дискретные симметрии

 $\mathcal{CP}$  симметрия

Экспериментальные установки

Пионы ( $\pi$ -мезоны)  $\pi^+$ ,  $\pi^0$ , и  $\pi^-$  — частицы-переносчики ядерного взаимодействия

Квантовая физика

А. Рабусов

Квантовая

Введение

постулаты
Двухщелевой опыт

Квантовая

теория пол

симметрии СР симметрия

Стандартная моделі

Экспериментальные установки

Пионы ( $\pi$ -мезоны)  $\pi^+$ ,  $\pi^0$ , и  $\pi^-$  — частицы-переносчики ядерного взаимодействия Масса  $m(\pi)\approx 270~m({\rm e})$ 

Квантовая физика

А. Рабусов

Квантовая механика

Введение

Статиче

постулаты
Двухщелевой опыт

вантовая

Дискретные

 $\mathcal{CP}$  симметрия

Стандартная моделі Экспериментальные

Пионы ( $\pi$ -мезоны)  $\pi^+,\,\pi^0,\,$  и  $\pi^--$  частицы-переносчики ядерного взаимодействия Масса  $m(\pi)\approx 270~m({\rm e})$  Время жизни  $\tau(\pi^\pm)\approx 2\cdot 10^{-8}$  с,  $\tau(\pi^0)\approx 10^{-16}$  с

Квантовая физика

А. Рабусов

Квантовая механика

Введение

Статичес

Двухшелевой опыт

Квантовая

Дискретные симметрии

 $\mathcal{CP}$  симметрия

Стандартная модел

Экспериментальные установки

# Пионы ( $\pi$ -мезоны) $\pi^+, \, \pi^0, \, \text{и} \, \pi^- - \text{частицы-переносчики ядерного взаимодействия Масса } m(\pi) \approx 270 \, m(\text{e})$ Время жизни $\tau(\pi^\pm) \approx 2 \cdot 10^{-8} \, \text{c}, \, \tau(\pi^0) \approx 10^{-16} \, \text{c}$ $\hat{\mathcal{P}} \, |\pi^0\rangle = -\, |\pi^0\rangle$

Квантовая физика

А. Рабусов

Квантовая механика

Введение

Статические

Двухщелевой опыт

Квантовая

симметрии

 $\mathcal{CP}$  симметрия

Экспериментальные

Пионы ( $\pi$ -мезоны)  $\pi^+, \, \pi^0, \, \text{и} \, \pi^- - \text{частицы-переносчики ядерного взаимодействия Масса } m(\pi) \approx 270 \, m(\text{e})$  Время жизни  $\tau(\pi^\pm) \approx 2 \cdot 10^{-8} \, \text{c}, \, \tau(\pi^0) \approx 10^{-16} \, \text{c}$   $\hat{\mathcal{P}} \, |\pi^0\rangle = -\, |\pi^0\rangle \\ \hat{\mathcal{P}} \, |\pi^+\pi^-, \, l\rangle = (-1)^l \, |\pi^+\pi^-, \, l\rangle$ 

#### Квантовая физика

А. Рабусов

Квантовая иеханика

Введение

Статические постулаты

Двухщелевой опыт

Квантовая теория поля

Дискретные симметрии

 $\mathcal{CP}$  симметрия

Экспериментальные установки

```
Пионы (\pi-мезоны) \pi^+,\,\pi^0,\, и \pi^- — частицы-переносчики ядерного взаимодействия Масса m(\pi)\approx 270\,m(\mathrm{e}) Время жизни \tau(\pi^\pm)\approx 2\cdot 10^{-8}\, с, \tau(\pi^0)\approx 10^{-16}\, с \hat{\mathcal{P}}\,|\pi^0\rangle=-|\pi^0\rangle \hat{\mathcal{P}}\,|\pi^+\pi^-,\,l\rangle=(-1)^l\,|\pi^+\pi^-,\,l\rangle Каоны (К-мезоны)
```

#### Квантовая физика

А. Рабусов

Квантовая иеханика

Введение

Статические постулаты

Двухщелевой опь

теория пол

симметрии

 $\mathcal{CP}$  симметрия

Экспериментальные

```
Пионы (\pi-мезоны) \pi^+,\,\pi^0,\, и \pi^- — частицы-переносчики ядерного взаимодействия Масса m(\pi)\approx 270\,m(\mathrm{e}) Время жизни \tau(\pi^\pm)\approx 2\cdot 10^{-8}\, с, \tau(\pi^0)\approx 10^{-16}\, с \hat{\mathcal{P}}\,|\pi^0\rangle=-|\pi^0\rangle \hat{\mathcal{P}}\,|\pi^+\pi^-,\,l\rangle=(-1)^l\,|\pi^+\pi^-,\,l\rangle Каоны (К-мезоны) Масса m(\mathrm{K})\approx 970\,m(\mathrm{e})
```

#### Квантовая физика

А. Рабусов

Квантовая иеханика

Введение

Статические постулаты

Двухщелевой оп

Квантовая

Дискретные

 $\mathcal{CP}$  симметрия

тандартная модель

Экспериментальные установки

```
Пионы (\pi-мезоны) \pi^+, \, \pi^0, \, \text{и} \, \pi^- - \text{частицы-переносчики ядерного взаимодействия}  Масса m(\pi) \approx 270 \, m(\text{e}) Время жизни \tau(\pi^\pm) \approx 2 \cdot 10^{-8} \, \text{c}, \, \tau(\pi^0) \approx 10^{-16} \, \text{c} \hat{\mathcal{P}} \, |\pi^0\rangle = -\, |\pi^0\rangle \\ \hat{\mathcal{P}} \, |\pi^+\pi^-, \, l\rangle = (-1)^l \, |\pi^+\pi^-, \, l\rangle  Каоны (К-мезоны) Масса m(\text{K}) \approx 970 \, m(\text{e}) Время жизни \tau(\text{K}^\pm) \approx 10^{-8} \, \text{c}
```

#### Квантовая физика

А. Рабусов

Квантовая иеханика

Введение

постулаты

двухщелевои опы

Квантовая теория поля

симметрии

 $\mathcal{CP}$  симметрия

Экспериментальные

```
Пионы (\pi-мезоны) \pi^+, \, \pi^0, \, \text{и} \, \pi^- - \text{частицы-переносчики ядерного взаимодействия Масса } m(\pi) \approx 270 \, m(\text{e}) Время жизни \tau(\pi^\pm) \approx 2 \cdot 10^{-8} \, \text{c}, \, \tau(\pi^0) \approx 10^{-16} \, \text{c} \hat{\mathcal{P}} \, |\pi^0\rangle = -\, |\pi^0\rangle \\ \hat{\mathcal{P}} \, |\pi^+\pi^-, \, l\rangle = (-1)^l \, |\pi^+\pi^-, \, l\rangle
```

Каоны (К-мезоны)

Масса  $m({\rm K})\approx 970~m({\rm e})$ Время жизни  $\tau({\rm K}^\pm)\approx 10^{-8}~{\rm c}$ 

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

#### Квантовая физика

А. Рабусов

Квантовая иеханика

Введение

постулаты

Двухщелевой оп

Квантовая геория пол:

симметрии

 $\mathcal{CP}$  симметрия

Экспериментальные

```
Пионы (\pi-мезоны)
       \pi^+. \pi^0. и \pi^- — частицы-переносчики ядерного взаимодействия
       Macca m(\pi) \approx 270 \ m(e)
       Время жизни \tau(\pi^{\pm}) \approx 2 \cdot 10^{-8} с. \tau(\pi^{0}) \approx 10^{-16} с
       \hat{\mathcal{P}}|\pi^0\rangle = -|\pi^0\rangle
       \hat{P}|\pi^{+}\pi^{-}, l\rangle = (-1)^{l}|\pi^{+}\pi^{-}, l\rangle
Каоны (К-мезоны)
       Macca m(K) \approx 970 \ m(e)
       Время жизни \tau(K^{\pm}) \approx 10^{-8} \text{ c}
       Нейтральные каоны несут скрытый заряд, поэтому \overline{\mathsf{K}^0} \neq \mathsf{K}^0
       Собственные комбинации для операторов чётности: \mathsf{K}^0\pm\overline{\mathsf{K}^0}=\mathsf{K}_\mathsf{S}. \mathsf{K}_\mathsf{I}
```

#### Квантовая физика

А. Рабусов

вантовая

Статическі

Двухщелевой опы

Квантовая теория поля

симметрии

 $\mathcal{CP}$  симметрия

Экспериментальные установки

```
Пионы (\pi-мезоны) \pi^+, \pi^0, \text{ и } \pi^- - \text{частицы-переносчики ядерного взаимодействия} Масса m(\pi) \approx 270 \ m(\mathrm{e}) Время жизни \tau(\pi^\pm) \approx 2 \cdot 10^{-8} \ \mathrm{c}, \ \tau(\pi^0) \approx 10^{-16} \ \mathrm{c} \hat{\mathcal{P}} | \pi^0 \rangle = - | \pi^0 \rangle \hat{\mathcal{P}} | \pi^+ \pi^-, \ l \rangle = (-1)^l | \pi^+ \pi^-, \ l \rangle Каоны (К-мезоны) Масса m(\mathrm{K}) \approx 970 \ m(\mathrm{e}) Время жизни \tau(\mathrm{K}^\pm) \approx 10^{-8} \ \mathrm{c}
```

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

 $K_{S} \to \pi^{+}\pi^{-} \ (\tau \approx 10^{-10} \text{ c. } \mathcal{CP} = 1)$ 

Собственные комбинации для операторов чётности:  $K^0 \pm \overline{K^0} = K_s$ .  $K_t$ 

Квантовая физика

А. Рабусов

вантовая

Введение

Статические постулаты

Двухщелевой опы

Квантовая

симметрии

 $\mathcal{CP}$  симметрия

Стандартная моделя Экспериментальные

```
Пионы (\pi-мезоны)
       \pi^+. \pi^0. и \pi^- — частицы-переносчики ядерного взаимодействия
       Macca m(\pi) \approx 270 \ m(e)
       Время жизни \tau(\pi^{\pm}) \approx 2 \cdot 10^{-8} с. \tau(\pi^{0}) \approx 10^{-16} с
       \hat{\mathcal{P}}|\pi^0\rangle = -|\pi^0\rangle
       \hat{P}|\pi^{+}\pi^{-}, l\rangle = (-1)^{l}|\pi^{+}\pi^{-}, l\rangle
Каоны (К-мезоны)
       Macca m(K) \approx 970 \ m(e)
       Время жизни \tau(K^{\pm}) \approx 10^{-8} \text{ c}
       Нейтральные каоны несут скрытый заряд. поэтому \overline{\mathsf{K}^0} \neq \mathsf{K}^0
       Собственные комбинации для операторов чётности: K^0 \pm \overline{K^0} = K_s. K_t
       K_{S} \to \pi^{+}\pi^{-} \ (\tau \approx 10^{-10} \text{ c. } \mathcal{CP} = 1)
       K_1 \to \pi^+ \pi^- \pi^0 \ (\tau \approx 5 \cdot 10^{-8} \text{ c. } \mathcal{CP} = -1)
```

# Квантовая физика

А. Рабусов

вантовая

Введение

постулаты

Kasuranaa

теория пол

симметрии СР симметрия

- **симметрия** тандартная модель

Экспериментальные установки

# Пионы ( $\pi$ -мезоны)

 $\pi^+$ ,  $\pi^0$ , и  $\pi^-$  — частицы-переносчики ядерного взаимодействия

Macca  $m(\pi) \approx 270 \ m(\mathrm{e})$ 

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

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

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

## Каоны (К-мезоны)

Macca  $m(K) \approx 970 \ m(e)$ 

Время жизни  $\tau(\mathsf{K}^\pm) \approx 10^{-8} \; \mathsf{c}$ 

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

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

$$\mathsf{K_S} o \pi^+\pi^- \ ( au pprox 10^{-10} \ \mathsf{c,} \ \mathcal{CP} = 1)$$

$$\mathsf{K_L} o \pi^+\pi^-\pi^0$$
  $( au pprox 5 \cdot 10^{-8} \; \mathsf{c}, \, \mathcal{CP} = -1)$ 

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

#### Квантовая физика

А. Рабусов

вантовая

Введение

постулаты

Квантовая

симметрии

СР симметрия

Экспериментальные установки

```
Пионы (\pi-мезоны)
```

$$\pi^+$$
,  $\pi^0$ , и  $\pi^-$  — частицы-переносчики ядерного взаимодействия

Macca  $m(\pi) \approx 270~m(\mathrm{e})$ 

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

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

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

## Каоны (К-мезоны)

Macca  $m(K) \approx 970 \ m(e)$ 

Время жизни  $\tau(\mathsf{K}^\pm) \approx 10^{-8} \; \mathsf{c}$ 

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

Собственные комбинации для операторов чётности:  $\mathsf{K}^0\pm\overline{\mathsf{K}^0}=\mathsf{K}_\mathsf{S},\;\mathsf{K}_\mathsf{L}$ 

$$\mathsf{K_S} o \pi^+\pi^ ( au pprox 10^{-10} \; \mathsf{c,} \; \mathcal{CP} = 1)$$

$$\mathsf{K_L} o \pi^+\pi^-\pi^0 \ ( au pprox 5 \cdot 10^{-8} \ \mathsf{c,} \ \mathcal{CP} = -1)$$

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

Регенерация K<sub>S</sub> в веществе

Квантовая физика

А. Рабусов

вантовая

Введение

Статические постулаты

Двухщелевои оп

теория пол:

симметрии СР симметрия

Стандартная модель

Экспериментальные установки

#### Квантовая физика

#### А. Рабусов

вантовая

MCXGHMA

Статические

постулаты Двухщелевой опы

Квантовая геория пол:

симметрии СР симметрия

Стандартная модел

кспериментальные тановки

Заключение

Пионы ( $\pi$ -мезоны)

 $\pi^+$ ,  $\pi^0$ , и  $\pi^-$  — частицы-переносчики ядерного взаимодействия

Macca  $m(\pi) \approx 270 \ m(\mathrm{e})$ 

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

 $\hat{\mathcal{P}} |\pi^0\rangle = -|\pi^0\rangle$  $\hat{\mathcal{P}} |\pi^+\pi^-, l\rangle = (-1)^l |\pi^+\pi^-, l\rangle$ 

Каоны (К-мезоны)

Macca  $m(K) \approx 970 \ m(e)$ 

Время жизни  $\tau(\mathsf{K}^\pm) \approx 10^{-8} \; \mathsf{c}$ 

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

Собственные комбинации для операторов чётности:  $\mathsf{K}^0\pm\overline{\mathsf{K}^0}=\mathsf{K}_\mathsf{S},\;\mathsf{K}_\mathsf{L}$ 

 $\mathsf{K_S} \to \pi^+\pi^- \ ( au pprox 10^{-10} \ \mathsf{c}, \, \mathcal{CP} = 1)$ 

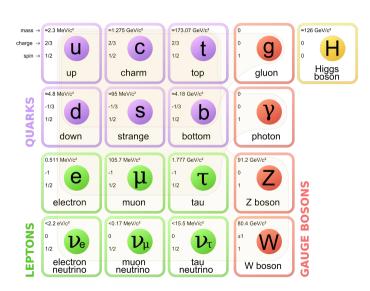
 ${\sf K_L} 
ightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$   $( au pprox 5 \cdot 10^{-8} {
m c}, {\cal CP} = -1)$ 

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

Регенерация  $K_S$  в веществе

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

# Элементарные частицы



Квантовая физика

А. Рабусов

Квантовая

Введение

татически

(вухщелевой опы

Квантовая

теория пол

симметрии СР симметрия

Стандартная модель

Экспериментальны установки

# $e^+e^-$ коллайдер KEKB



#### Квантовая физика

А. Рабусов

Квантова:

MCXCHIN

Введение

Статические постулаты

Двухщелевой опыт

Квантовая

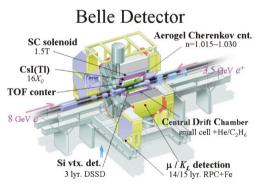
Дискретные

 $\mathcal{CP}$  симметрия

Стандартная модел

Экспериментальные установки

# Детектор Белль





#### Квантовая физика

А. Рабусов

Квантовая

Введение

татические

Двухщелевой опыт

Квантовая

теория пол

Дискретные симметрии

D .....

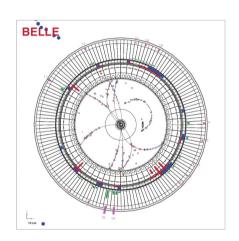
Стандартная модель

Экспериментальные

**установки** 

# Дрейфовая камера





Event display

Квантовая физика

А. Рабусов

Квантовая механика Введение

Статические постулаты

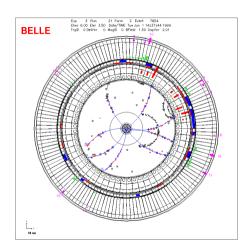
Двухщелевой опыт

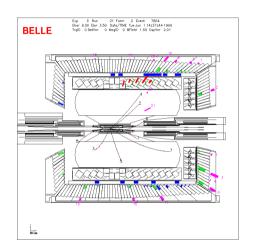
Квантовая

Дискретные симметрии СР симметрия

Стандартная модель Экспериментальные установки

# Событие в детекторе





 $\mathcal{X}\mathcal{Y}$ -проекция

 $\mathcal{Y}\mathcal{Z}$ -проекция

Квантовая физика

А. Рабусов

Квантовая

Введение

Статические постулаты

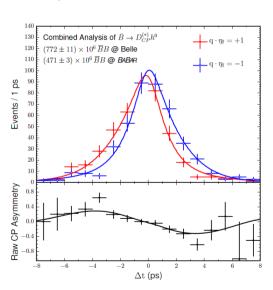
Квантовая

Дискретные симметрии
СР симметрия

Стандартная модель

Экспериментальные установки

# Нарушение $\mathcal{T}$ -симметрии



#### Квантовая физика

А. Рабусов

Квантовая

Введение

Статические постулаты Двухшелевой опь

Квантовая

Дискретные симметрии

 $\mathcal{CP}$  симметрия

Экспериментальные установки

# 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"

Квантовая физика

А. Рабусов

CP симметрия

Экспериментальные