

к-рая имеет смысл вероятности того, что частица, находящаяся в точке r_1 в момент времени t_1 , в момент t_2 окажется в точке r_2 .

В простейшем случае одномерного броуновского движения функция (5) имеет вид

$$w(r_1, t_1; r_2, t_2) = [2\pi D(t_2 - t_1)]^{-1/2} \exp \left\{ -\frac{(r_1 - r_2)^2}{2D(t_2 - t_1)} \right\}, \quad (6)$$

$t_2 > t_1.$

Т. о., для микроскопич. тел Т. является статистич. понятием.

Для квантовых частиц понятие «Т.» утрачивает смысл. Количеств. критерием квантового движения является условие

$$h/mv \sim L, \quad (7)$$

здесь h — постоянная Планка, m — масса частицы (напр., электрона), v — характерная скорость, L — характерный размер области движения частицы.

«Увидеть» Т. движения квантовой частицы (напр., электрона в атоме) непосредственно при помощи микроскопа или попытаться «поймать» Т. к.-л. способом невозможно. С формальной точки зрения причина состоит в том, что в квантовой частице неприменимо понятие материальной точки, можно говорить лишь об амплитуде вероятности обнаружить частицу в том или ином состоянии. Как показал Гейзенберг (1927), физ. причина такого положения вещей заключается в том, что, пытаясь измерить положение частицы, мы неизбежно воздействуем на неё, причём это воздействие не может быть меньше постоянной Планка. Следовательно, в квантовом, случае [когда выполнено условие (7)] представление о Т. как о геом. месте точек, в каждой из к-рых частицы имеют определ. скорость, физически бессмысленно.

Несмотря на это, в 1947 Т. «вернулась» в квантовую механику благодаря остроумному формализму интегрирования по траекториям, разработанному Р. Фейнманом (R. P. Feynman), и, т. о., легла в основу его интерпретации квантовой механики (см. Фейнмана представление в квантовой механике).

Оказывается, амплитуда перехода квантовой частицы из точки r_1, t_1 в точку r_2, t_2 можно записать в виде

$$G(r_2, t_2; r_1, t_1) = \int_{x(t_1)=r_1}^{x(t_2)=r_2} \exp \left\{ \frac{i}{\hbar} S[x(t)] \right\} D[x(t)]. \quad (8)$$

Здесь $S[x(t)]$ — действие классической частицы, движущейся по Т. $x(t)$, символ

$$\int_{x(t_1)=r_1}^{x(t_2)=r_2} \dots D[x(t)] \quad (9)$$

означает, что необходимо просуммировать величину по всем Т., соединяющим точки r_1, t_1 и r_2, t_2 . При этом величина $\exp \{ (i/\hbar) S[x(t)] \}$ имеет смысл амплитуды вероятности того, что частица попадёт из точки r_1, t_1 в точку r_2, t_2 , двигаясь по Т. $x(t)$. Т. о., суммируя амплитуды вероятности переходов по всевозможным Т., мы получим амплитуду перехода G квантовой частицы (рис. 3).

Ур-ние (1) определяет экстремальную Т. в интеграле (8), к-рую называют классич. Т.

В классич. механике, к-рая описывает поведение микроскопич. тел, Т. движения являются непосредственно измеряемой величиной. Для микроскопич. тел имеет смысл говорить лишь о статистическом ансамбле траекторий, поскольку для таких тел существенную роль играют термодинамич. флуктуации. И, наконец, в квантовой области

представление о Т. как о наблюдаемой физ. величине не имеет смысла. И всё же Т., ужас как матем. абстракция, образует основу очень красивого и плодотворного описания природы на квантовом уровне.

Лит.: Винер Н., Нелинейные задачи в теории случайных процессов, пер. с англ., М., 1961; Фейнман Р. Ф., Хибс А. Р., Квантовая механика и интегралы по траекториям, пер. с англ., М., 1968; Сивухин Д. В., Общий курс физики, 3 изд., т. 1. Механика, М., 1989. М. А. Сахаров.

ТРАНЗИСТОР (от англ. transfer — перенос и resistor — сопротивление) — трёхэлектродный полупроводниковый прибор, способный усиливать электрич. сигналы. Изобретён Дж. Бардином (J. Bardeen), У. Браттейном (W. Brattain) и У. Шокли (W. Shockley) в 1948 (Нобелевская премия по физике, 1956).

Ныне Т. называют 2 класса приборов, различных по физ. принципам, лежащим в основе их работы, но объединённых общим свойством усиливать электрич. сигналы. За изобретением Бардина, Браттейна и Шокли утвердилось название *транзистор биполярный*. Второй класс транзисторов составляют *полевые транзисторы*. Т. обоих классов являются осн. активными элементами совр. полупроводниковой электроники и элементной базой интегральных схем.

Лит. см. при статьях *Полевой транзистор*, *Транзистор биполярный*.

ТРАНЗИСТОР БИПОЛЯРНЫЙ (от лат. bi — двойной, двоякий и греч. pólos — ось, полюс) — один из осн. элементов полупроводниковой электроники. Создан в 1948 Дж. Бардином (J. Bardeen), У. Браттейном (W. Brattain) и У. Шокли (W. Shockley) (Нобелевская премия по физике, 1956). Представляет собой трёхслойную полупроводниковую структуру с чередующимися слоями дырочной (p-тип) и электронной (n-тип) проводимости. Существуют Т. б.

Рис. 1. Структура биполярного транзистора: а — транзистор p—n—p-типа; б — транзистор n—p—n-типа.

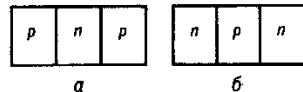


Рис. 2. Структура биполярного транзистора p—n—p-типа: 1 — эмиттерный p—n-переход; 2 — коллекторный p—n-переход.

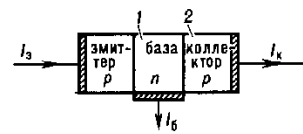
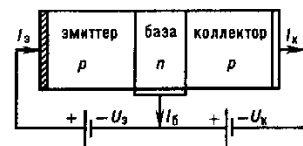


Рис. 3. Схема включения транзистора.



как p—n—p (рис. 1, а), так и n—p—n-типа (рис. 1, б). Ср. область транзисторной структуры называют базой. На границе между базовой областью и крайними областями — эмиттером и коллектором — существуют электронно-дырочные переходы (p—n-переходы); эмиттерный и коллекторный (рис. 2). В основе работы Т. б. лежат свойства p—n-переходов, схема включения его в электрич. цепь показана на рис. 3. Т. б. изготавливаются, как правило, на основе Si, GaAs и *гетероперехода* GaAlAs/GaAs.

Принципы работы. Обычно при работе Т. б. к эмиттерному переходу приложено напряжение в прямом направлении (+ на p-эмиттере), а к коллекторному — в обратном направлении (– на p-коллекторе). В отсутствие внеш. напряжения на границе p- и n-областей существует, как известно, потенц. барьер, мешающий дыркам переходить из p- в n-область, а электронам — из n- в p-область. Если к p—n-структуре приложено прямое напряжение (рис. 4, а), высота потенц. барьера понижается. При этом дырки из эмиттера инжектируются в базу (см. *Инжекция носителей заряда*), а электроны — из базы в эмиттер (рис. 4, б). В ши-



Рис. 3.