

пич. электродинамики. Представляет интерес хаотич. поведение траекторий нек-рых динамич. систем в связи с исследованием турбулентности. Несмотря на то, что решения ур-ний полностью определяются нач. данными, они с течением времени меняются чрезвычайно нерегулярным образом. Малые отклонения нач. условий вызывают большие изменения в поведении системы через определ. время. Для наблюдателя картина поведения траекторий системы выглядит полностью хаотичной — т. е. динамический хаос.

Причинность в квантовой механике. До появления квантовой механики считали, что в основе мироздания лежат динамич. законы с их однозначной П. Несмотря на то, что незначит. изменения нач. условий в сложных системах приводили к сильным изменениям их конечных состояний, так что наличие малых ошибок в нач. условиях было равносильно полному незнакомому дальнейшему поведению системы, всё же считали, что вторжение этих ошибок имеет практическое, а не принципиальное значение. Полагали, что классич. детерминизм в каком-то виде сохраняется.

После открытия статистич. характера законов движения отд. микрочастиц и создания квантовой механики оказалось, что вероятностная П. может существовать сама по себе, без стоящей за ней однозначной динамич. П., и является основной, а однозначная динамич. П. — её частным случаем.

В квантовой механике состояние системы полностью характеризуется волновой ф-цией $\Psi(x, y, z; t)$, определяющей распределение вероятностей для любой физ. величины. Эта ф-ция удовлетворяет Шрёдингера уравнению и является амплитудой вероятности. Если известны волновая ф-ция в нач. момент времени t_0 и оператор Гамильтона системы, определяемый энергией взаимодействия частиц, то ур-ние Шрёдингера позволяет однозначно найти волновую ф-цию в произвольный последующий момент времени t . Вследствие этого нач. состояние, $\Psi(t_0)$, вместе с определ. законом взаимодействия частиц можно рассматривать как причину, а состояние в последующий момент, $\Psi(t)$, — как следствие.

Т. о., понятие динамич. П. в квантовой механике неприменимо, но вероятностная П. здесь справедлива в той же мере, что и для объектов классич. статистич. теории. Напр., зная нач. состояние электронов, падающих на дифракц. решётку, заданное в виде плоской волны де Бройля (состояние с определ. импульсом), можно однозначно предсказать распределение электронов на экране — дифракц. картину. Вид дифракц. картины, образованной частицами с заданным импульсом, определяется однозначно, но поведение отд. электронов остаётся случайным. Электроны в одном и том же состоянии попадают после дифракции на разл. участки экрана. Уточнить к.-л. образом нач. состояние частицы с тем, чтобы можно было проследить в деталях за её движением и предсказать, куда она попадёт после рассеяния на дифракц. решётке, принципиально невозможно. Любая попытка фиксации координат частиц до дифракции так изменит их импульсы, что вся дифракц. картина окажется смазанной.

Особенно отчётливо статистич. характер явлений микромира обнаруживается при распадах радиоакт. ядер и нестабильных элементарных частиц.

Отметим, что точно формулируемая количественная (теоретическая) вероятностная П. в классич. статистич. теориях не исчерпывает П. полностью. Кроме того, сохраняется понятие качественной (или наглядной) П. в том смысле, что те или иные случайные значения координат, импульсов и др. величин причинно обусловлены. Напр., причиной очередного случайного броска броуновской частицы в определ. направлении являются нескомпенсиров. удары молекул о частицу с одной стороны.

Нельзя заранее полностью исключить возможность того, что и в квантовой области качественная П. всё

же способна объяснить детали того или иного поведения микрообъекта. Определ. отклонение электрона при дифракции, распад частицы в данный момент и т. д. имеют свои причины. Так, в частности, взаимодействие частиц с физ. вакуумом можно рассматривать как проявление универс. связи микрообъектов, исключаящей возможность их полной индивидуализации. Это взаимодействие статистич. характера, возможно, и обуславливает детали поведения отд. микрообъектов. Но отсюда, конечно, ни в коем случае не вытекает, что для микрообъектов возможны законы динамич. типа.

В квантовой теории поля принцип П. в явной форме используется в качестве активного начала при развитии теории (см. *Причинности принцип*).

Лит.: 1) Г о б с Т., Избр. произведения, пер. с лат. и англ., т. 1, М., 1964; 2) Лейбниц Г. В., Соч., т. 1, М., 1982; 3) Мах Э., Анализ ощущений и отношение физического к психическому, пер. с нем., 2 изд., М., 1908; 4) Рассел Б., Человеческое познание. Его сфера и границы, пер. с англ., М., 1957; 5) Вунге М., Причинность, пер. с англ., М., 1962; 6) Философия естествознания, в. 1, М., 1966; 7) Свечник В. Г. А., Причинность и связь состояний в физике, М., 1971; 8) М я в ш е в Г. Я., Динамические и статистические закономерности в физике, М., 1973.

Г. Я. Мяснев

ПРИЭЛЕКТРОДНЫЕ ЯВЛЕНИЯ — процессы в газовых разрядах в неоднородной по концентрации, темп-ре и др. параметрам плазме, заключённой между электродом и почти однородной плазмой. В противоположность однородному *положительному столбу* плазмы, где ток протекает под действием электрич. поля, в приэлектродных областях значит. роль играют *переноса процессы* заряд. частиц за счёт диффузии и под действием градиента темп-ры. В непосредств. близости от электрода распределения электронов и ионов по скоростям, как правило, отличаются от распределения Максвелла.

Сложность П. я. определяется не только разнообразием условий, в к-рых они протекают, но и необходимостью во мн. случаях рассматривать явления как вблизи электрода, так и на самом электроде при взаимном влиянии их друг на друга. Это обстоятельство характеризует состав и свойства приэлектродной плазмы. Так, напр., существование и самоподдержание вакуумного дугового разряда определяются образованием катодных пятен и эрозией материала катода.

В сильноточных разрядах с термомиссионным катодом и сильноточных дуговых разрядах вдали от электрода устанавливается не только почти однородное, но также и почти равновесное состояние либо для всей плазмы в целом, либо в отдельности для электронов и тяжёлой компоненты (атомов и ионов). В этом случае под П. я. понимают явления в области между электродом и почти равновесной плазмой, в к-рой последовательно релаксируют приэлектродные возмущения. В этой области устанавливаются *квазинейтральность плазмы*, максвелловские ф-ции распределения заряд. частиц, *ионизационное равновесие*, выравниваются темп-ры электронов и тяжёлой компоненты плазмы. Релаксация приэлектродных возмущений происходит на определённых характерных длинах (длины свободного пробега, длины установления квазинейтральности и т. п.), к-рые можно рассмотреть на примере плазмы с достаточно большой концентрацией электронов, реализующейся, напр., в сильноточных разрядах.

Ленгмюровский слой. Ионный ток на границе плазма — электрод. Характерной длиной установления квазинейтральности термодинамически равновесной плазмы является *дебаевский радиус экранирования* $r_D = \sqrt{kT/4\pi n e^2}$, где n и T — концентрация и темп-ра невозмущённой плазмы. В отсутствие равновесия, при протекании тока, приэлектродный слой пространственного заряда расширяется, образуя т. н. *ленгмюровский оболочку*, протяжённость к-рой L_0 в случае незиттирующего электрода при достаточно большом падении напряжения U_0 в слое ($U_0 \gg kT$) может быть оценена из закона 3/2 Ленгмюра: