

процессов. Напр., можно вычислить вероятность рекомбинации, зная вероятность ионизации.

Д. р. п. наз. также равенство ср. числа прямых и обратных столкновений для газов в состоянии статистич. равновесия. Для газа, подчиняющегося *Больцмана статистике*, условием детального баланса есть $ff_1 = f'f'_1$, где f, f_1 и f', f'_1 — ф-ции распределения соответственно до и после столкновения. Из этого условия вытекает *Максвелла распределение*. Для квантовых газов условия детального баланса имеют вид

$$ff_1(1 \mp f')(1 \mp f'_1) = f'f'_1(1 \mp f)(1 \mp f_1), \quad (7)$$

где знаки \mp относятся к *Ферми — Дирака статистике* и *Бозе — Эйнштейна статистике*. Эти условия определяют распределения Ферми — Дирака и Бозе — Эйнштейна.

Лит.: Гайтлер В., Квантовая теория излучения, пер. с англ., М., 1956, с. 467; Л и Ф ш и Е. М., Пятаевский И. П., Физическая кинетика, М., 1979, с. 17. Д. Н. Зубарев.

Нарушение принципа детального равновесия. Симметрии относительно обращения времени, на основе которой выводится Д. р. п., является лишь приближённой. Поэтому Д. р. п. также не выполняется точно. Однако даже малое нарушение Д. р. п. могло бы иметь заметные следствия в статистич. физике в результате эффекта накапливания нарушения из-за большого времени существования системы и соответственно большого числа актов столкновения. Но в равновесном случае этого не происходит, т. к. свойства системы определяются лишь формой равновесных ф-ций распределения, к-рая, хотя обычно и выводится из Д. р. п. (как показано выше), фактически не зависит от его справедливости и может быть получена из более общего принципа унитарности *матрицы рассеяния S*.

Амплитуда перехода A_{fi} из состояния i в состояние f связана с элементом S -матрицы соотношением

$$S_{fi} = \delta_{fi} + i(2\pi)^4 \delta(p_f - p_i) A_{fi}, \quad (8)$$

где δ_{fi} — символ Кронекера, $\delta(p_f - p_i)$ — функция Дирака, p_i, p_f — 4-импульсы начального и конечного состояний. Из *унитарности условия* $SS^+ = S^+S = I$, где I — единичная матрица (S^+ — матрица, эрмитово сопряжённая S), следует:

$$\sum_f (|A_{if}|^2 - |A_{fi}|^2) = 0. \quad (9)$$

Для вывода равенства (9) достаточно использовать лишь диагональные элементы матричного равенства $SS^+ = I$, поэтому фактически оно может быть получено из ещё более слабых условий: *CPT-инвариантности* (см. *Теорема CPT*) и требования, чтобы вероятность перехода из нач. состояния во все конечные равнялась единице:

$$\sum_f w_{fi} = 1, \quad (10)$$

где $w_{fi} = |A_{fi}|^2$ — вероятность перехода из i в f .

Соотношение (9) обобщает условие детального баланса на случай, когда нарушается T -инвариантность, и показывает, что в этом случае баланс соблюдается, вообще говоря, не между каждой отдельной прямой и обратной реакциями, а между суммой переходов из всех состояний i в состоянии f и обратно — из f во все i . Ситуация напоминает кинетич. равновесие электронов в магн. поле, когда отсутствует детальный баланс в фазовом пространстве, но существует «циклич. баланс»: сколько электронов в среднем утекает влево при их движении по кругу, столько же притекает справа. Аналогично при нарушении T -инвариантности баланс не соблюдается детально между отд. элементами в фазовом пространстве, т. к. $w_{f_1 \neq f_2} \neq w_{f_2 \neq f_1}$, но выполняется при учёте всех циклов $i \rightarrow f_1 \rightarrow f_2 \rightarrow \dots \rightarrow f_n \rightarrow i$. В соответствии с этим условие (9) можно назвать условием «циклич. баланса».

Используя (9) совместно с основным кинетич. уравнением, можно вывести распределение Ферми — Дирака

или Бозе — Эйнштейна в равновесном случае независимо от Д. р. п., поэтому нарушение симметрии относительно обращения времени в равновесных условиях не проявляется. Однако в неравновесном случае нарушение Д. р. п. приводит к наблюдаемым эффектам.

Лит.: Долгов А. Д., Барийная асимметрия Вселенной и нарушение термодинамического равновесия, «Письма в ЖЭТФ», 1979, т. 29, с. 254. А. Д. Долгов.

ДЕТЕКТИРОВАНИЕ (от лат. detectio — открытие, обнаружение) — преобразование *модулированных колебаний* для выделения НЧ-сигнала; процесс, обратный модуляции колебаний, поэтому Д. наз. также *демодуляцией*. Д. связано с преобразованием частоты колебаний, поэтому для его осуществления используют нелинейные элементы (вакуумные и полупроводниковые диоды, сверхпроводящие туннельные переходы, транзисторы). Д. применяется в радиоприёмных устройствах, телевидении, оптике и т. д. Простейшая схема для Д. амплитудно-модулиров. сигналов не отличается от схемы *выпрямителя*. Отличия возникают лишь в схеме фильтра, выделяющего НЧ-колебания. Постоянная времени τ фильтра (см. *Фильтры электрические*) должна быть такой, чтобы $\omega_0 \gg \tau^{-1} \gg \Omega$, где ω_0 — несущая частота, Ω — макс. частота НЧ-сигнала. При частотной и фазовой модуляциях обычно преобразуют колебания в амплитудно-модулированные, а затем осуществляют Д.

ДЕТЕКТИРОВАНИЕ СВЕТА — нелинейное преобразование оптич. излучения видимого и ИК-диапазонов частот ($10^{15} - 10^{13}$ Гц) в электрич. сигнал в виде последовательности одноэлектронных импульсов или колебаний тока радиочастотного диапазона, несущий информацию о параметрах оптич. излучения (интенсивности, частоте, фазе). Д. с. осуществляется с помощью фотоприёмников (фоторезисторов, фотодиодов, фотоумножителей), для к-рых характерна нелинейная (обычно квадратичная) зависимость фототока от напряжённости электрич. поля световой волны E_c . Д. с. применяется в системах оптич. связи, оптич. локации, оптич. обработки информации, а также в спектроскопии, интерферометрии, голографии и т. п. Осн. разновидности Д. с. — прямое детектирование и гетеродинирование.

Прямое детектирование. В устройствах прямого детектирования на фотокатод приёмника поступают только полезный оптич. сигнал и фоновое излучение (рис. 1). Для повышения уровня сигнала относительно уровня фона перед приёмником иногда помещают полосовой оптич. фильтр и усилитель. В результате прямого детектирования изменения интенсивности принимаемого излучения, усреднённые по времени за время $\tau \gg T$ (периода оптич. колебаний) и по площади фотокатода приёмника, преобразуются в изменения мощности выходного электрич. сигнала. В силу статистич. характера фотозмиссии при детектировании возникает шум, ха-



Рис. 1. Схема устройств прямого и гетеродинного детектирования.

актеризуемый неопределённостью числа фотоэлектронов, эмитируемых фотокатодом («фотонный шум»). Этот шум складывается с шумом фонового излучения и темнового тока, генерируемого внутри приёмника, а также с тепловыми шумами нагрузки. Эти шумы ограничивают чувствительность устройств Д. с. Для выделения информативного параметра из дробовых и тепловых шумов выходной электрич. ток приёмника подаётся на обрабатывающее устройство радиочастотного диапазона, напр. НЧ-фильтр. Устройства прямо-