

У. р., как безгранично делимому распределению, соответствует однородный случайный процесс с независимыми приращениями (напр., Винеровский случайный процесс). Стохастически непрерывный однородный случайный процесс с независимыми приращениями $\{x(\tau), \tau \geq 0\}$ наз. устойчивым, если приращение $x(1) - x(0)$ имеет У. р.

Лит.: 1) Гнеденко Б. В., Колмогоров А. Н., Пределные распределения для сумм независимых случайных величин, М.—Л., 1949; 2) Прохоров Ю. В., Розанов Ю. А., Теория вероятностей, 3 изд., М., 1987; 3) Ибрагимов И. А., Линник Ю. В., Независимые и стационарно связанные величины, М., 1965; 4) Скороход А. В., Случайные процессы с независимыми приращениями, М., 1964; 5) Золотарев В. М., Одномерные устойчивые распределения, М., 1983. Б. А. Рогозин.

УШИРЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ЛИНИЙ — физ. процессы, приводящие к немонохроматичности спектральных линий и определяющие их контуры. Любое воздействие на излучающую или поглощающую квантовую систему (атом, молекулу) влияет на контур спектральной линии (ширину и сдвиг). Радиаци. затухание ответственно за естественную ширину спектральной линии. Тепловое движение в газе приводит к доплеровскому уширению. Взаимодействие атома или молекулы с окружающими частицами вызывает уширение, сдвиг и асимметрию контура спектральной линии, зависящие от сорта возмущающих частиц и характеристик их движения.

В газах и плазме в зависимости от характера воздействия окружающих частиц различают два осн. механизма У. с. л. — ударный и квазистатистический (статистический). Если в ср. длительность столкновения с возмущающими частицами мала по сравнению с временем между двумя последовательными столкновениями, то происходит ударное У. с. л. В этом случае столкновения приводят к мгновенному сдвигу фазы и неупругой релаксации верх. и ниж. состояний излучающей системы, контур спектральной линии имеет лоренцовскую форму, а ширина $\delta\omega$ (ω — круговая частота) и сдвиг линии Δ пропорциональны концентрации возмущающих частиц N :

$$\delta\omega = 2N\langle v\sigma' \rangle, \quad \Delta = N\langle v\sigma'' \rangle. \quad (1)$$

Здесь σ' и σ'' — т. н. эфф. сечения уширения и сдвига, v — относит. скорость движения частиц; угл. скобки означают усреднение по скоростям. В нек-рых случаях ударное У. с. л. практически полностью обусловлено неупругой релаксацией верх. и ниж. уровней a и b . При этом сдвиг линии почти отсутствует, а $\sigma' = (\sigma_a + \sigma_b)/2$, где $\sigma_{a,b}$ — эфф. сечения неупругого рассеяния. Как правило, хорошее количество описание У. с. л. даёт полуклассич. подход, в к-ром излучающий атом рассматривается как квантовая система, а относит. движение возмущающей частицы — как движение по классич. траектории в его поле. У. с. л. нейтральными частицами определяется ударным механизмом вплоть до давлений в неск. десятков атм. Уширение электронами в плазме практически всегда имеет ударный характер. В большинстве случаев в ударном приближении хорошо описывается центр. часть контура спектральной линии.

В противоположном предельном случае очень медленных столкновений можно считать, что в каждый момент имеют место сдвиг и расщепление спектральной линии, соответствующие текущему значению внеш. возмущения. Результирующий контур линии определяется усреднением по всем возможным конфигурациям возмущающих частиц. Такой квазистатич. механизм определяет распределение интенсивности $I(\omega)$ при больших отстройках от центральной частоты, т. е. в крыле линии. Если потенциал взаимодействия $V(R)$ атома с возмущающей частицей убывает с расстоянием R между ними по степенному закону $V = \hbar C_n/R^n$, то в крыле линии

$$I(\omega)d\omega \propto \frac{4\pi}{n} N C_n^{3/n} |\omega - \omega_0|^{-(3+n)/n} d\omega. \quad (2)$$

Спектральные линии неводородоподобных атомов обладают одним квазистатистич. крылом; исключение состав-

ляет случай резонансного уширения. Воздействие положит. ионов на большинство линий водородоподобных атомов во мн. случаях вполне удовлетворительно описывается в квазистатич. приближении для всего контура. При этом в ф-ле (2) $n=2$. В случае α -линий (переходы $n \rightarrow n-1$) необходимо учитывать движение ионов.

К наибольшему У. с. л. приводит взаимодействие с заряж. частицами в плазме — т. н. штарковское уширение. Для водородоподобных линий осн. роль играет квазистатич. уширение ионами за счёт линейного Штарка эффекта, $V \propto 1/R^2$. При этом ширина линии $\delta\omega \propto N_i^{2/3}$ (N_i — концентрация ионов), а сдвиг практически отсутствует. В случае неводородоподобных линий определяющим является уширение электронами вследствие квадратичного эффекта Штарка. Штарковское уширение широко используют для определения концентрации заряж. частиц.

Уширение нейтральными частицами существенно зависит от типа радиац. перехода и сорта возмущающих частиц. Наиб. уширение, обусловленное резонансным диполь-дипольным взаимодействием, наблюдается у резонансных линий атомов в однородном газе, т. е. при возмущении излучающего атома атомами того же сорта. Такое же резонансное уширение имеет место в том случае, когда один из уровней, между к-рыми происходит переход, связан с основным состоянием оптически разрешённым переходом. В этом случае сечение уширения $\sigma' \sim (1-5) \times 10^{-12} \text{ см}^2$, сдвиг линии мал по сравнению с шириной. Если возмущающими частицами являются атомы или молекулы постороннего газа, уширение атомных линий определяется ван-дер-ваальсовским взаимодействием $V = \hbar C_6/R^6$. Характерные сечения уширения $\sigma' \sim 10^{-14} - 10^{-13} \text{ см}^2$, имеется сдвиг линии, к-рый обычно составляет $\sim 30\%$ ширины.

В молекулярных спектрах уширение линий электронных переходов происходит аналогично У. с. л. неводородоподобных атомов. Характер взаимодействия, к-рое определяет уширение колебательно-вращат. и вращат. линий, зависит от симметрии излучающих и возмущающих молекул (см. Молекула, Молекулярные спектры). Это может быть диполь-дипольное, диполь-квадрупольное, квадруполь-квадрупольное, ван-дер-ваальсовское взаимодействия или их комбинации. Характерные сечения уширения $\sigma' \sim (1-3) \cdot 10^{-15} \text{ см}^2$.

Рядом особенностей обладает У. с. л., связанных с ридберговскими уровнями атомов и молекул (см. Ридберговские состояния). Особенно велико сечение уширения электронным ударом $\sigma' \propto n^4$ и при $n \approx 20$ $\sigma' \geq 10^{-10} \text{ см}^2$. При возмущении ридберговских уровней щелочных металлов собств. давлением $\sigma' \sim 5 \cdot 10^{-12} \text{ см}^2$, а при возмущении посторонними газами $\sigma' \sim 10^{-14} - 10^{-13} \text{ см}^2$.

Иногда при повышении давления газа У. с. л. из-за взаимодействия отсутствует и даже происходит сужение линии. Если эфф. сечение уширения σ' много меньше эфф. сечения упругих соударений $\sigma_{\text{уп}}$, то имеет место эффект сужения Дике. При малом давлении буферного газа линия имеет доплеровски уширенный контур. Если концентрация газа N повышается, так что длина свободного пробега излучающей частицы $L = 1/N\sigma_{\text{уп}} < \lambda/2\pi$ (где λ — длина волны спектральной линии), то упругие столкновения препятствуют свободному движению молекул и доплеровское уширение линии уменьшается. При этом ширина центральной части контура $\delta\omega \propto 1/N$. При дальнейшем повышении давления ширина линии достигает минимума и затем начинает возрастать пропорционально $2N\langle v\sigma' \rangle$. В оптич. области спектра этот эффект отсутствует. Слабо выраженный эффект Дике наблюдается на колебат. переходах нек-рых молекул. Значит. сужение может наблюдаться на радиочастотных переходах между компонентами сверхтонкой структуры осн. состояния атомов. В нек-рых случаях при повышении давления газа У. с. л. не происходит вследствие интерференц. эффектов (напр., для спектрального контура Q -ветви комбинац. рассеяния света в плотных газах).

Столкновения частиц приводят также и к изменению скорости атома или молекулы, поэтому, вообще говоря,