

Если операторы $\hat{V}(t)$, взятые в разные моменты времени, не коммутируют, то амплитуда перехода во встряске типа рассеяния находится с помощью *Магнуса* разложения и в общем случае представляет собой экспоненту, содержащую бесконечное число кратных интегралов от коммутаторов типа $[\hat{V}(t), \hat{V}(t')]$. В этом проявляется специфика встряски типа рассеяния, её сложность по сравнению со случаем включения, т. е. даже за короткое время структура взаимодействия оказывается существ. влияние на амплитуду перехода. В отличие от встряски типа включения, во встряске типа рассеяния для того, чтобы вероятности переходов стали ~ 1 , требуется достаточно сильное возмущение для выполнения неравенства $V\tau \gg \hbar$.

Практически наиб. важными примерами встряски типа рассеяния являются процессы *кулоновского возбуждения ядра* тяжёлыми ионами, *кулоновского возбуждения атомов* быстрыми нейтр. атомами и атомарными ионами и многочисл. процессы колебательно-вращат. возбуждения молекул в столкновениях с электронами и тяжёлыми частицами. К общему случаю встряски относится задача о влиянии прямого кулоновского возбуждения на вероятности атомных переходов при бета-распаде ядер и др. ядерных реакциях.

Во всех областях физики встречаются процессы, к-рые можно рассматривать как быструю передачу импульса связанной квантовой системе. К ним относятся рассеяние жёсткого эл.-магн. излучения, нейтронов или электронов высоких энергий атомами и атомными ядрами, ядерный бета-распад, *Мессбауэра эффект* и др. Анализ таких процессов показывает, что в системах, обладающих стационарными состояниями, вероятности переходов, стимулированных передачей импульса q , содержат в себе квадрат модуля амплитуды (формфактора) [3, 4]:

$$M_{fi} = \langle f | \exp[iqR/\hbar] | i \rangle, \quad (3)$$

зависящего лишь от свойств невозмущённой системы и величины q , но не от деталей протекания процесса передачи импульса. Подобная универсальность, позволяющая дать единое, унифицир. описание мн. явлений в совершенно разных физ. проблемах, связана с очень быстрой передачей импульса, так что для её описания достаточно ограничиться нулевым по ω приближением (2). В высших порядках по ω такая универсальность пропадает, поскольку в каждом конкретном процессе обобщение формфакторного подхода обладает своими специфич. особенностями. Математически это выражается в появлении в ф.-лах для амплитуд переходов коммутаторов, содержащих гамилтониан невозмущённой системы. Однако если процесс передачи импульса можно трактовать как встряску типа включения, то на коммутационные соотношения в нулевом порядке по ω не накладывается никаких ограничений.

При условии, что системе в результате столкновения за короткое время передаётся импульс q , независимо от физ. природы процесса встряски, вероятности переходов определяются величиной параметра [3, 4]

$$N = q\delta R/\hbar, \quad (4)$$

где δR — неопределённость в координатах, обуславливающая относительно медленными движениями в невозмущённой системе.

Имеется ряд задач, в к-рых В. в. м., приспособленный для вычисления вероятностей переходов между стационарными состояниями квантовой системы, непосредственно не применим. Примерами таких процессов являются вынужденные эффекты испускания (поглощения) квантов внеш. лазерного поля, происходящие на фоне осн. процесса — фотоэффекта, бета-распада, излучения или поглощения электроном жёсткого кванта, рассеяния электрона на атоме, комптон-эффекта и т. д. Для их исследования удобнее рассматривать полуклассич. временную картину столкновения, считая, что встряска электрона происходит с одинаковой вероят-

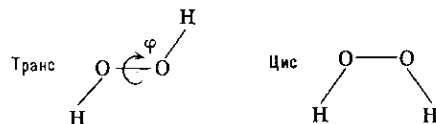
ностью в любой момент времени [3]. Во всех явлениях такого рода, когда встряска состоит в быстрой передаче импульса электрону в первой стадии процесса, вероятности вынужденных эффектов определяются величиной параметра (4), в к-ром под δR понимается теперь амплитуда колебаний электрона во внеш. лазерном поле. В тех случаях, когда параметр N не содержит постоянной Планка (напр., в процессах излучения и рассеяния света классич. электроном), соответствующие вынужденные эффекты имеют классич. объяснение при любом числе испускаемых (поглощаемых) лазерных квантов.

Лит.: 1) Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М., Квантовая механика, 3 изд., М., 1974; 2) Мигдал А. Б., Качественные методы в квантовой теории, М., 1975; 3) Дыхине А. М., Юдин Г. Л., Вынужденные эффекты при «встряске» электрона во внешнем электромагнитном поле, «УФН», 1977, т. 124, с. 157; 4) и х же, «Встряхивание квантовой системы и характер стимулированных им переходов, там же, 1978, т. 125, с. 377; 5) Матвеев В. И., Паризиис Э. С., Встряска при электронных переходах в атомах, там же, 1982, т. 138, с. 573. А. М. Дыхине, Г. Л. Юдин.

ВНЕСИСТЕМНЫЕ ЕДИНИЦЫ — единицы физ. величин, не входящие ни в одну из существующих систем единиц, а также не входящие в СИ, но допускаемые к применению наравне с единицами этой системы. В.е. можно разделить на независимые (определяемые без помощи др. единиц, напр. градус Цельсия, бел) и произвольно выбранные, но выражаемые нек-рым числом др. единиц (напр., атмосфера, лошадиная сила, световой год, парсек).

ВНЕШНЕЕ ТРЕНИЕ — см. *Трение внешнее*.

ВНУТРЕННЕЕ ВРАЩЕНИЕ — вращение определ. атомных групп молекул вокруг хим. связей или нек-рых осей вращения. В результате В. в. образуются пространств. изомеры, наз. конформерами или ротамерами. Так, в молекуле пероксида водорода (H_2O_2)



вращение происходит вокруг связи O—O и плоский трансидный ротамер (угол поворота вокруг связи O—O $\varphi=180^\circ$) соответствует наиб. удалению атомов H друг от друга, а плоский цисидный ротамер ($\varphi=0^\circ$) — их наиб. сближению. Равновесный конформер, отвечающий минимуму потенц. энергии молекулы, возникает при $\varphi \approx 110^\circ$. В. в. в молекуле этана CH_3-CH_3 происходит вокруг связи C—C, причём заслонённый ротамер (связи C—H в разных группах CH_3 попарно лежат в одной плоскости) отвечает максимуму потенц. энергии, а скрещённый ротамер (образующийся из первого поворотом одной из групп CH_3 вокруг связи C—C на 60°) — минимуму энергии. В π -комплексах (см. *пространств. структура* в ст. *Валентность*) В. в. заключается в поворотах пентаэдриальных колец вокруг оси, проходящей через атом металла и центры колец.

Характеристики В. в. — барьер вращения (энергия, необходимая для осуществления поворота, см. *Потенциальная поверхность*) и разность энергий ротамеров — определяют экспериментально методами *инфракрасной спектроскопии*, *спектроскопии комбинационного рассеяния света*, *микроволновой спектроскопии*, *спектроскопии ядерного магнитного резонанса*, *ультразвуковой спектроскопии*. Экспериментально полученные для пероксида водорода значения барьеров вращения составляют 4 кДж/моль для трансидного и 40 кДж/моль для цисидного ротамеров. С развитием методов квантовой химии эти параметры В. в. в принципе могут быть теоретически рассчитаны, что позволит уточнить эксперим. полученные для них значения. В. в. определяют мн. св-ва (напр., вязкость).

Лит. см. при ст. *Измерения молекул*. В. Г. Дашевский.
ВНУТРЕННЕЕ ТРЕНИЕ в твёрдых телах — свойство твёрдых тел необратимо превращать в теплоту