

Газовые лазеры: лазеры на электронных переходах

$E, \text{эВ}$

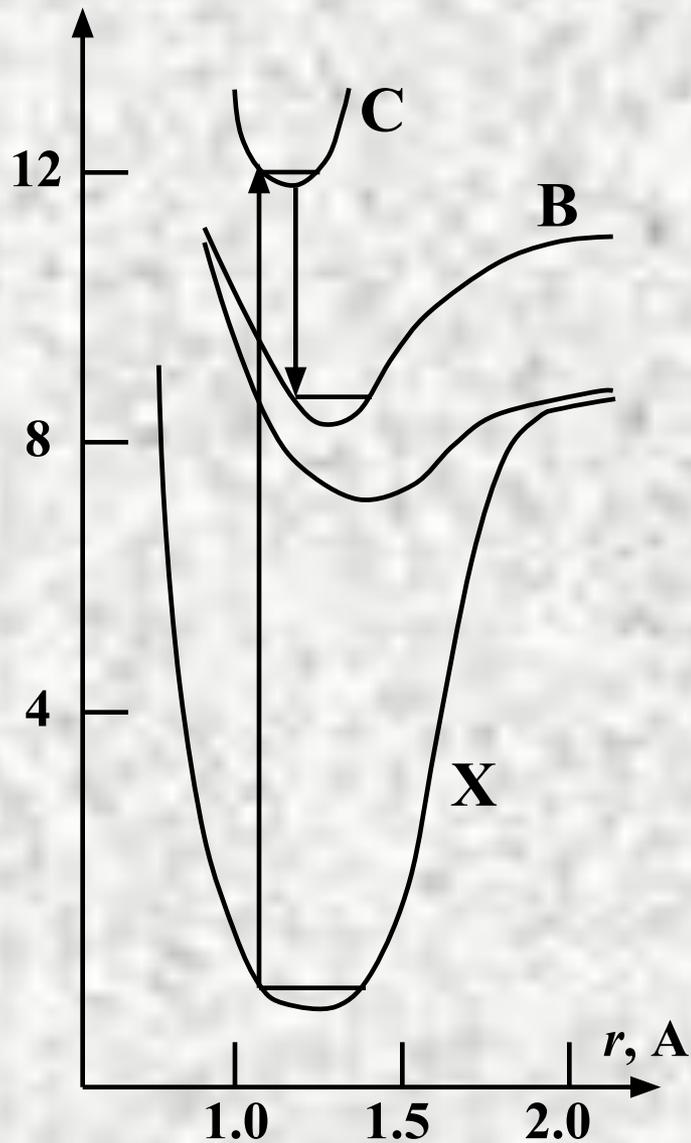


Схема уровней молекулы азота

$E, \text{эВ}$

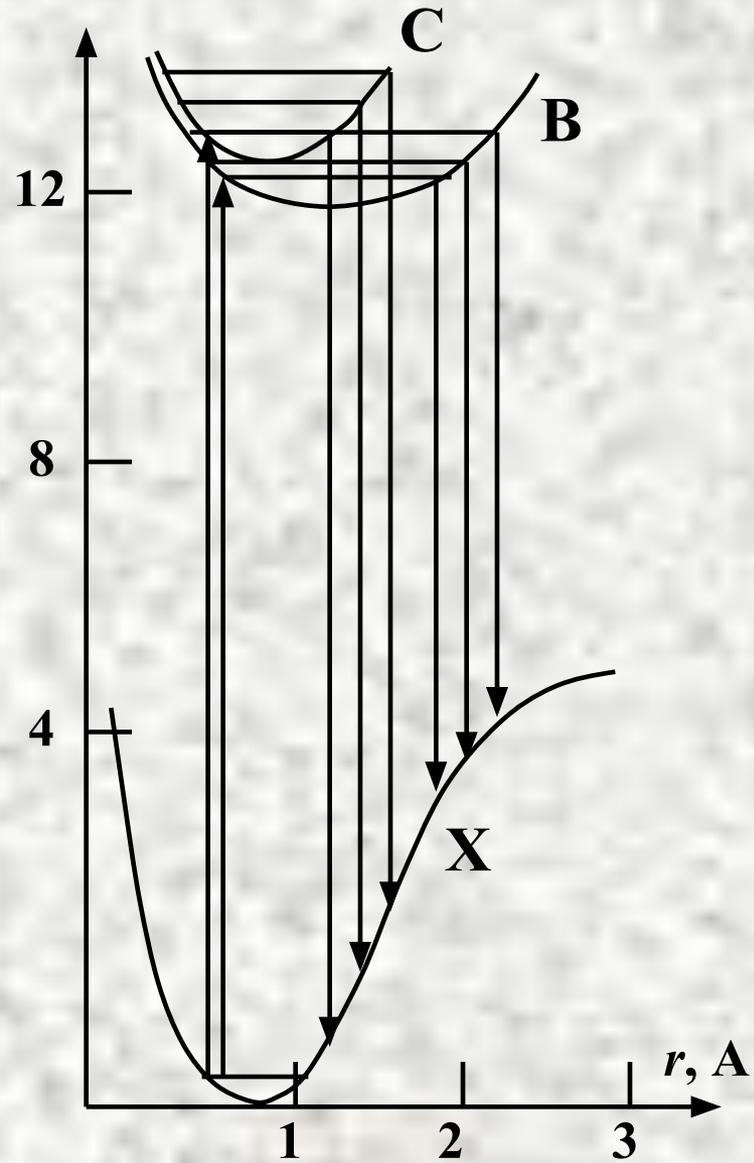


Схема уровней молекулы водорода

Газовые лазеры: лазеры на электронных переходах

Принцип Франка-Кондона: наиболее вероятными переходами являются вертикальные переходы (без изменения межъядерного расстояния), происходящие в точках поворота

В молекуле азота наиболее вероятными являются переходы с нулевого колебательного уровня основного X-состояния на 0-й и 1-й колебательные уровни C-состояния. Вероятность переходов из X-состояния в B-состояние практически равна нулю

Инверсная населенность возникает между возбужденными уровнями C-состояния и уровнями B-состояния

Длины волн генерации азотного лазера:

337.1 нм - переход с 0-го уровня C-состояния на 0-й уровень B-состояния

357.7 нм - переход с 0-го уровня C-состояния на 1-й уровень B-состояния

315.9 нм - переход с 1-го уровня C-состояния на 0-й уровень B-состояния

В каждом колебательном переходе имеется несколько вращательных компонент

Газовые лазеры: лазеры на электронных переходах

В молекуле водорода возможно большее количество переходов из С-состояния в В-состояние. Поэтому диапазон длин волн генерации водородного лазера шире – примерно от 116 нм до 126 нм.

Азотный и водородный лазер являются лазерами на самоограниченных переходах и могут работать только в импульсных режимах

Время существования инверсии составляет не более нескольких нс

За эти времена излучение просто не успевает совершить двойной проход через резонатор. Поэтому эти лазеры являются суперлюминесцентными

Возбуждение верхних лазерных уровней осуществляется в поперечном электрическом разряде в процессах прямого столкновения молекул азота и водорода с электронами

Плотность мощности накачки составляет несколько кВт/см³ при давлении газа в несколько десятков Торр. В случае азотного лазера выходная мощность может достигать единиц МВт, в случае водородного – единиц кВт, частота следования импульсов может достигать сотен кГц

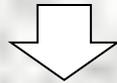
Газовые лазеры: лазеры на электронных переходах

Особенность лазеров на самоограниченнвх переходах - высокая величина коэффициента усиления

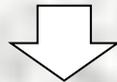
Азотный лазер может работать вообще без зеркал – его излучение представляет фактически усиленное спонтанное излучение

Для снижения пороговых величин накачки, а также для получения направленного излучения и уменьшения его расходимости одно зеркало все же устанавливается

Азотный лазер может работать на атмосферном воздухе



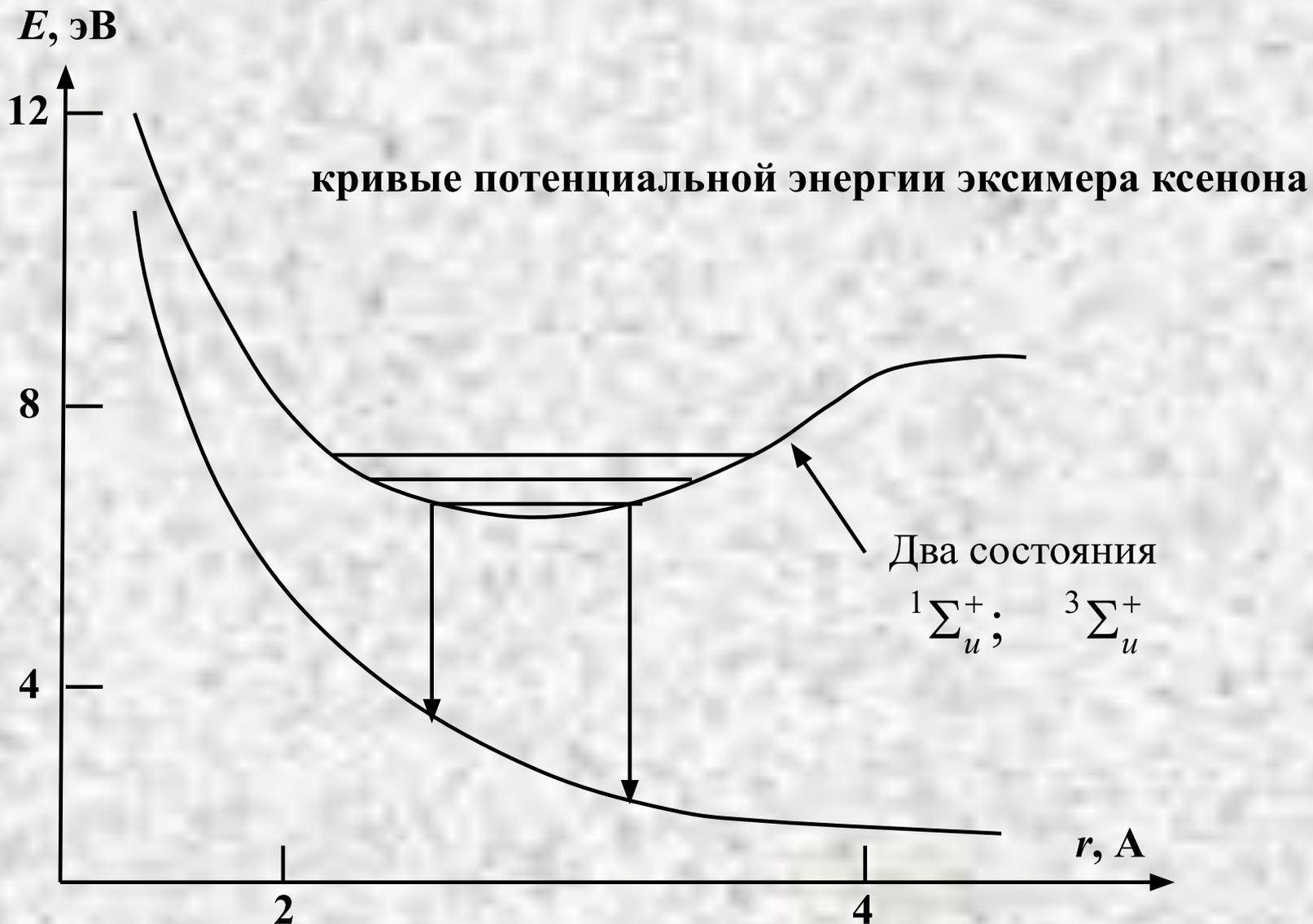
Одна из основных проблем в этом случае связана с большой вероятностью возникновения дугового разряда



Эта проблема решается за счет уменьшения длительности накачки до времен порядка одной наносекунды

Газовые лазеры: эксимерные лазеры

Эксимер (*excited dimer* – возбужденный димер) - молекула, которая может существовать только в возбужденном электронном состоянии



Газовые лазеры: эксимерные лазеры

Особенности эксимерных лазеров

При переходе из связанного состояния в отталкивательное молекула сразу же разваливается на два атома и перестает существовать



Населенность нижнего лазерного уровня всегда равна нулю

Наличие колебательно-вращательной структуры верхнего состояния и отсутствие таковой структуры у нижнего состояния приводит к тому, что при переходе стандартное понятие колебательно-вращательной структуры отсутствует



Переходы осуществляются в широких спектральных диапазонах

Имеются эксимеры, у которых потенциальная кривая нижнего состояния не является чисто отталкивательной, а имеет неглубокий минимум

Попав в нижнее состояние, молекула эксимера быстро диссоциирует либо спонтанно, либо при столкновении с частицей или стенкой

Газовые лазеры: эксимерные лазеры

Между связанным (верхний лазерный уровень) и основным (нижний уровень) электронными состояниями имеется инверсная населенность, населенность нижнего уровня всегда равна нулю

К первой группе эксимерных лазеров относятся лазеры, полученные на эксимерах инертных газов (Xe_2 , Ar_2 , Kr_2).

Ко второй группе относятся лазеры на эксимерах, образованных при соединении атома инертного газа с галогеном (ArF , XeF , XeCl , KrCl , KrF)

Xe_2 -лазер

Процесс образования эксимера ксенона происходит в электрическом разряде в результате нескольких столкновительных процессов:

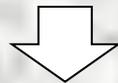


Газовые лазеры: эксимерные лазеры

Времена жизни двух связанных возбужденных состояний равны 5 нс и 40 нс

Наличие тройных столкновений приводит к тому, что давление ксенона должно быть достаточно большим – в Хе-лазере оно составляет порядка 10 атмосфер

Высокая способность инертных газов к образованию эксимеров обусловлена тем, что в возбужденном состоянии их свойства становятся похожими на свойства щелочных металлов



Они легко вступают в связь типа ионной

При переходе в отталкивательное состояние отсутствует какая-либо колебательно-вращательная структура

Газовые лазеры: эксимерные лазеры

При переходе в отгалкивательное состояние отсутствует какая-либо колебательно-вращательная структура. Поэтому генерация происходит в широком диапазоне – примерно от 170 нм до 175 нм

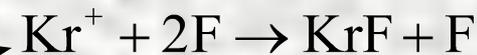
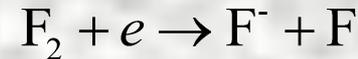
Длительность накачки составляет не более 1 нс, выходная мощность излучения достигает сотен МВт

KrF-лазер

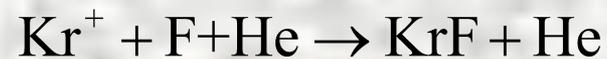
В KrF-лазере газовая смесь состоит из атомов криптона и молекулярного фтора



или



эффективность этой реакции существенно увеличивается в столкновениях с гелием:



Поэтому в KrF-лазере в смесь добавляется атомарный гелий

Газовые лазеры: эксимерные лазеры

Излучательные характеристики всех эксимерных лазеров достаточно близки. Отличаются только длины волн генерации:

Лазер	Длина волны, нм	Лазер	Длина волны, нм
Хе ₂	172.5	ArF	192.0
Kr ₂	145.4	KrCl	222.0
Ar ₂	126.5	ХеF	352.0
KrF	249.0	ХеCl	308.0

Привлекательность эксимерных лазеров обусловлена как возможностью получения высоких мощностей излучения в УФ диапазоне, так и широким спектральным диапазоном излучения с плавной перестройкой частоты излучения во всем этом диапазоне