

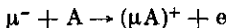
$$\eta = \frac{P_c}{P_{co}} = \left(1 + \frac{\omega_c}{\omega_n}\right) \frac{P_{no}}{P_{co}}$$

где P_{no} и P_{co} — первонач. мощности на соответствующих частотах. Т. о., анализ М. — Р. с. для конкретных ситуаций позволяет определить макс. эффективность нелинейного процесса.

Лит.: Manley J. M., Rowe H. E., Some general properties of nonlinear elements, pt 1 — General energy relations, «Proc. IRE», 1956, в. 44, № 7, р. 904; Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М., Электродинамика сплошных сред, 2 изд., М., 1982; Ахманов С. А., Хохлов Р. В., Проблемы нелинейной оптики, М., 1964; Основы теории колебаний, 2 изд., М., 1988. А. С. Чиркин.

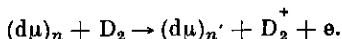
МЮ-АТОМНЫЕ ПРОЦЕССЫ — совокупность реакций, происходящих при образовании и столкновениях мюонных атомов с ядрами атомов вещества. Скорости образования μ -атомов весьма велики, $\sim 10^{12} \text{Z}\phi \text{c}^{-1}$, где $\phi = N/N_0$ — относит. плотность вещества, Z — заряд ядер (в единицах заряда протона) его атомов, $N_0 = 4,25 \cdot 10^{22} \text{ см}^{-3}$ — плотность жидкого водорода.

Мюонные атомы образуются в реакциях

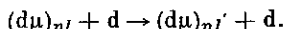


(A — атом) при энергиях мюонов 10–50 эВ и затем за времена 10^{-12} – 10^{-14} с переходит в осн. состояние с испусканием γ -квантов и оже-электронов.

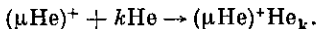
Наиб. изучены μ -атомные процессы с участием мюонных атомов изотопов водорода: μH , μD и μT . Согласно расчётам, они образуются в состояниях с гл. квантовым числом $n \geq 14$ с вероятностью $\sim n^{-3}$. При их столкновениях с ядрами др. изотопов возможны след. процессы: перезарядка из возбуждённых состояний n , напр. $(\mu\text{H})_n^+ + t \rightarrow (\mu\text{t})_n + \text{H}$, и оже-девозбуждение на уровнях $n' < n$:



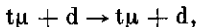
Сущест. роль в процессах девозбуждения такого типа, а также в процессах перезарядки играет штарковское смешивание состояний с разл. орбитальными моментами l , принадлежащих вырожденному мультиплету (nl) с фиксиров. значением n :



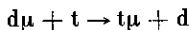
Особый интерес представляет процесс штарковского смешивания $2s$ — $2p$ состояний μ -атомов водорода μH и гелия $(\mu\text{He})^+$, в к-рых эффекты *поляризации вакуума* снимают вырождение их $2s$ - и $2p$ -состояний (см. *Мюонный атом*). Штарковское перемешивание $2s$ - и $2p$ -состояний приводит, в частности, к быстрой гибели $2s$ -состояний за счёт быстрых (скорость $\sim 10^{12} \times Z^4 \text{ c}^{-1}$) радиац. переходов $2p \rightarrow 1s$. Сущест. роль при этом играют процессы образования кластеров типа



Совокупность перечисленных процессов приводит к тому, что все μ -атомы водорода и гелия за время жизни мюона успевают перейти в основное $1s$ -состояние. В этом состоянии возможны упругое рассеяние типа

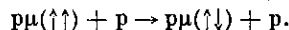


перезарядка



и др. процессы. Абс. величина этих сечений при малых энергиях столкновения, $\mathcal{E} \leq 1$ эВ, составляет 10^{-20} — 10^{-19} см^2 , а их зависимость от энергии довольно разнообразна. Напр., в сечении реакции упругого рассеяния $\mu\text{H} + \text{p} \rightarrow \mu\text{H} + \text{p}$ имеет место *Рамзауэра эффект* при $\mathcal{E} \approx 1,6$ эВ, а при $\mathcal{E} \approx 50$ эВ — сильный резонанс. Сечение реакции $\mu\text{H} + \text{t} \rightarrow \mu\text{t} + \text{H}$ аномально мало в пределе $\mathcal{E} \rightarrow 0$, а в сечениях реакций $\mu\text{H} + \text{d}$ и $\mu\text{H} + \text{t}$ имеются пороговые особенности. Взаимодействие спинов мюона и ядер приводит к расщеплению энергии осн. состояния μ -атомов на орто-состояния (спины ядра и мюона параллельны) и пара-состояния (спины анти-

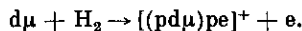
параллельны), энергии к-рых различны: расщеплены на величины $\Delta\mathcal{E}_{\text{ор}}$ = 0,182 эВ, $\Delta\mathcal{E}_{\text{па}}$ = 0,049 эВ, $\Delta\mathcal{E}_{\text{т}}$ = 0,241 эВ. Во всех случаях величина расщепления превышает кинетич. энергию μ -атомов при нормальной темп-ре ($\mathcal{E} \approx 0,04$ эВ), что приводит к необратимым переходам мюонных атомов из орто- в пара-состояние при столкновениях типа



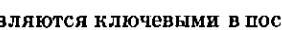
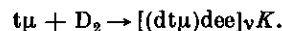
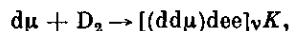
В частности, этот процесс в 4 раза увеличивает наблюдаемую скорость μ -захвата $\mu^- + \text{p} \rightarrow \text{n} + \nu_\mu$ в газообразном водороде по сравнению с теоретически предсказываемой без учёта μ -атомных процессов при столкновениях.

В жидком водороде в реакции $\mu\text{H} + \text{H}_2 \rightarrow \{(\mu\text{H})\text{pe}\}^+ + \text{H}$ успевают образоваться мюонная молекула μH_2 , к-рая становится ядром μ -молекулярного комплекса $\{(\mu\text{H})\text{pe}\}^+$. Процесс μ -захвата происходит при этом из орто-состояния мюонной молекулы μH_2 , и его скорость втрое превышает скорость μ -захвата для случая статистической смеси орто- и пара-состояний мюонных атомов μH .

При столкновениях др. мюонных атомов изотопов водорода с молекулами водорода образуются соответствующие мюонные молекулы, т. е. молекулярные ионы, состоящие из двух ядер и μ^- , к-рые становятся «тяжёлым ядром» μ -молекулярного комплекса. При неравновесном образовании мюонных молекул их энергия связи передаётся электрону конверсии, напр.:



При резонансном образовании мюонных молекул $\text{d}\mu$ и $\text{t}\mu$ энергия их образования передаётся на возбуждение вращательно-колебат. состояний (νK) образующегося μ -молекулярного комплекса:



Эти реакции являются ключевыми в последовательности реакций *мюонного катализа*.

Лит.: Зельдович Я. Б., Герштейн С. С., Ядерные реакции в холодном водороде, «УФН», 1960, т. 71, с. 581; Gerstein S. S., Ponomarev L. I., Mesomolecular processes induced by μ^- and π^- mesons, в кн.: Muon physics, v. 3, N. Y., 1975. Л. И. Пономарёв.

МЮЛЛЕРА МАТРИЦА — матрица линейного преобразования (матричный оператор), применяемая для аналитич. описания действия поляризац. оптич. элементов (поляризаторов, фазовых пластинок, отражающих поверхностей, тонких плёнок) на произвольным образом поляризованные световые пучки (см. *Поляризация света*). М. м. представляет собой квадратную 4×4 -матрицу M , к-рая связывает 4-компонентный вектор Стокса S' светового пучка, прошедшего через оптич. элемент, с вектором Стокса S исходного пучка: $S' = MS$. Действие совокупности k оптич. элементов на световой пучок с вектором Стокса S описывается произведением соответствующих М. м.: $S' = M_k M_{k-1} \dots M_2 M_1 S$, причём матрицы элементов, последовательно проходимых световым пучком, располагаются в соответствующей последовательности справа налево. Знание М. м. оптич. элементов, расположенных на пути светового луча, позволяет путём простых формальных преобразований определить поляризац. состояние (вектор Стокса) света, прошедшего через оптич. систему. Метод расчёта эволюции поляризац. состояния света был предложен Х. Мюллером (H. Müller) в 1943 и получил широкое распространение. В отличие от др. расчётных методов (аналитич. *Джонса матричного метода*, графич. метода сферы Пуанкаре), метод Мюллера применим и к деполаризующим системам, поскольку описывает связь между усреднёнными по времени интенсивностями разл. поляризац. компонент пучка, а не между амплитудами и фазами колебаний.