

3.3 «Доводородные» элементы

Ещё Д.И.Менделеев задумывался над вопросом возможно ли существование в природе элементов легче водорода? Учёных давно интересует вопрос, что произойдёт, если заменить протон на позитрон или гиперон, а электрон – на тяжёлый мезон?

Ответы на эти вопросы сейчас известны: ничего особенного - никаких новых («доводородных») элементов не возникнет, а получится атом водорода!

В попытке продолжить Периодическую таблицу в сторону лёгких элементов первым был получен атом позитрония, в котором две частицы, электрон и позитрон, вращаются относительно друг друга. Позитроний нестабилен - через 10^{-7} или 10^{-10} с (соответственно при антипараллельных и параллельных спинах частиц) происходит аннигиляция e^+e^- . Атомы позитрония вступают в химические реакции (присоединение по ненасыщенным водородным связям, замещение других атомов, окисление и др.) подобно атому водорода. Поэтому позитроний рассматривается как изотоп водорода (подобно протию, дейтерию и тритию).

Замечание. Сравнение позитрония с атомом водорода не совсем точно. Хотя позитроний в целом – система нейтральная (его заряд равен нулю), это не означает, что он не окружен электрическим полем. Поля не было бы, если бы оба заряда располагались в одном месте. В позитронии же заряды находятся на расстоянии примерно $0,2 \cdot 10^{-8}$ см, а потому поле, создаваемое позитроном, не уничтожается полностью полем, которое создается электроном. В результате позитроний может притянуть к себе еще один заряд – электрон или позитрон, и образовать связанную систему, состоящую из трех частиц. Систему, состоящую из двух электронов и одного позитрона, удалось создать в 1980 г. американцу Миллсу. Её назвали отрицательным ионом позитрония. Должен существовать и положительный ион позитрония, аналог иона молекулы водорода, содержащего два протона и один электрон. Но он пока не получен.

В качестве положительно заряженного ядра атома может использоваться не только протон или позитрон, но и любая другая положительно заряженная частица, например, мюон.

Мюон [сокр. мю-мезон] — физически неустойчивая элементарная частица с массой покоя, равной 207 электронных масс, зарядом, равным положительному или отрицательному электрическому заряду и спином 1/2; время жизни мюона равно $2,2 \cdot 10^{-6}$ с; относится к классу лептонов. Отрицательно заряженный мюон является античастицей по отношению к положительно заряженному мюону, и наоборот.

Положительный мюон способен захватывать на свою орбиту обычный электрон, образуя мюоний, аналог атома водорода.

Мюоний - нестабильная связанная система из положительно заряженного мюона (μ^+) и электрона (e^-), по структуре аналогичная атому водорода. Время жизни мюония около 10^{-6} с. Атомная водородная система, состоящая из положительного мюона в качестве центрального ядра и электрона, является модельным легким аналогом атомарного водорода.

Атом мюония (Mu) по основным параметрам (размер, ионизационный потенциал и т.п.) близок к атому H, отличаясь от последнего массой ($m_{\text{Mu}} \sim m_{\text{H}}/9$). Он вполне аналогичен водороду, например, в твердом теле μ^+ -мезоны занимают такие же положения равновесия, какие заняли бы замедляющиеся в нем протоны. С помощью теории кинетического изотопного эффекта можно оценить разницу в скоростях химических реакций водорода и мюония. Установлено, что при нормальных условиях изотопный эффект незначителен. Тем не менее есть одно обстоятельство, которое будучи малосущественным для реакций обычных атомов, даже таких легких, как водород, для реакций мюония может приобретать решающее значение - квантово-механический туннельный эффект. По сравнению с предсказаниями классической теории скорость химической реакции значительно возрастает. Для зависимости скорости химической реакции от температуры закон Аррениуса не имеет места: уже при комнатной температуре мы находимся в квантовой области.

Попытки заменить протон на положительно заряженный гиперон (в разы тяжелее протона) также всегда приводят к получению водородоподобного атома.

Второе направление модификации атома водорода – замена орбитального электрона на другую отрицательно заряженную элементарную частицу: мезоны или адроны. Действительно, известно, что μ^- -мезоны, поскольку последние способны замещать электроны в атомах и молекулах, образуя мезоатомы (иногда их называют мюонными атомами).

Мезоатом [см. мез(о)...] — атом, в котором один из электронов замещен отрицательно заряженным мюоном; в мезоатоме мюоны расположены в сотни раз ближе к ядру, чем электроны в обычном атоме. В более широком смысле, мезоатом – атомоподобная система, в которой силы электростатического притяжения связывают

положительное ядро с одним (или несколькими) отрицательно заряженными мюонами (мюонный атом) или адронами (адронный атом). Мезоатом может содержать также электроны.

Адроны - элементарные частицы, участвующие в сильном взаимодействии (барионы и мезоны, включая все резонансы).

Барионы - /от греч. - тяжелый/, "тяжелые" элементарные частицы с полуцелым спином и массой, не меньшей массы протона, участвуют во всех известных фундаментальных взаимодействиях; к барионам относятся нуклоны, гипероны и многие из резонансов.

В простейшем мезоатоме – мюонном водороде μ^- вращается вокруг протона. По размерам такой атом в 207 раз меньше обычного атома водорода. Можно сделать еще один шаг и представить себе мезомолекулу – два ядра, соединенные между собой не электроном, как обычно, а мюоном. Например, ион молекулярного дейтерия *dde* представляет собой два дейтона и общий электрон. Дейтоны находятся в нем на расстоянии порядка двух боровских радиусов.

Свойства мезоатомов мы подробно рассмотрим в отдельной лекции, здесь только укажем, что система протон-мезон обладает всеми химическими свойствами водорода.

Можно ожидать, что любая комбинация состоящих из двух элементарных частиц (их уже более 300), одна из которых – положительно, а другая - отрицательно заряжена, будет представлять собой атом водорода. Поэтому, до тех пор, пока заряд частицы будет кратен заряду электрона, мы всегда будем получать элемент водород. (Что будет с химией в случае появления частиц с дробными зарядами неизвестно, поскольку ни одной такой элементарной частицы пока не обнаружено).