

УДК 372.853+524.35+539.1

В. С. СЕКЕРЖИЦКИЙ, А. И. СЕРЫЙ

Брест, БрГУ

К МЕТОДИКЕ ПРЕПОДАВАНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ ВОПРОСОВ АСТРОНОМИИ И АСТРОФИЗИКИ

В данной публикации продолжено исследование вопросов, затронутых, в частности, в [1, с. 62].

Несмотря на то что водород является основным химическим элементом в астрофизических объектах, диапазон температур и плотностей, при которых он может существовать в различных агрегатных состояниях, довольно широк [2, с. 74–104; 3, с. 991–993]. При этом возможны различные реакции, приводящие к появлению новых видов частиц, в результате чего водород с точки зрения химического состава перестает, строго говоря, быть таковым. В связи с этим представляет интерес систематизация сведений об основных типах реакций, возможных с участием протонов и электронов, что выполнено ниже в виде таблицы. Данная таблица может быть использована в процессе преподавания отдельных разделов физики атомного ядра и элементарных частиц, а также астрономии, поскольку в учебных программах обеих дисциплин, как правило, присутствуют вопросы, связанные с астрофизическим нуклеосинтезом [4, с. 97–101].

При этом сделаем следующие замечания.

1. С появлением новых видов частиц система становится неустойчивой по отношению к новым реакциям с дальнейшим изменением химического состава (например, дейтронизация после нейтронизации [1, с. 62], УРКА-процессы после рождения электронно-позитронных пар). 2. Температуры, при которых некоторые из перечисленных ниже реакций (рождение пар мюонов и антимюонов, мезонов, барионов и антибарионов) начинают играть заметную роль, настолько высоки, что, скорее всего, задолго до их достижения в водороде произойдет ряд других реакций (для которых требуются более низкие температуры), в результате чего он, строго говоря, перестанет быть водородом. С другой стороны, наличие высоких температур не всегда является необходимым условием для протекания тех или иных реакций (в качестве примеров можно привести нейтронизацию, возможную при достаточно высоких плотностях для любой заданной температуры, а также пикноядерное выгорание водорода [3, с. 991–993]). 3. Основными факторами, влияющими на протекание тех или иных реакций в водороде, являются не только плотность и температура, но и наличие внешних полей (прежде всего, магнитного, которое влияет, например, на

рождение электронно-позитронных пар [5, с. 429–431] и на порог нейтронизации [2, с. 89]). 4. Рождение лептон-антилептонных пар возможно не только при столкновениях электронов (с их сохранением как катализаторов), поскольку законами сохранения это не запрещено и при столкновениях протонов, а также возможно в магнитных полях за счет фотонов (которые всегда могут присутствовать в водороде). 5. Рождение пар фотоном возможно и в электрическом поле (как и спонтанное рождение пар без фотона) [5, с. 161, 454–463, 633], но электрические поля соответствующей интенсивности вряд ли возможны в водороде в макроскопических масштабах.

Таблица – Примеры возможных реакций в водороде

Реакция	Условия
1. Нейтронизация $pe^- \rightarrow n\nu_e$	Достаточно высокие плотности.
2. Дейтронизация $pp \rightarrow de^+\nu_e$	Достаточно высокие плотности (при пикноядерном выгорании [3, с. 991–993]) или достаточно высокие температуры для преодоления кулоновского барьера (термоядерный синтез, протон-протонный цикл [4, с. 97–101]).
3. Рождение различных видов пар	Достаточно высокие температуры (когда $kT \geq 2mc^2$, где m – масса соответствующей частицы) или достаточно интенсивные магнитные поля, когда пару рождает фотон [5, с. 429–431].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Секержицкий, В. С. К вопросу о дейтронизации электронно-протонного вещества / В. С. Секержицкий, А. И. Серый // Проблемы совершенствования подготовки будущих преподавателей физики : сб. материалов регион. науч.-метод. семинара, посвящ. 100-летию со дня рождения Л. Е. Курбако, Брест, 12–13 нояб. 2020 г. / Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина ; под общ. ред. В. С. Секержицкого. – Брест : БрГУ, 2020.
2. Секержицкий, В. С. Равновесные системы фермионов и бозонов в магнитных полях : монография / В. С. Секержицкий ; Брест. гос. ун-т имени А. С. Пушкина. – Брест : Изд-во БрГУ, 2008. – 198 с.
3. Зельдович, Я. Б. О ядерных реакциях в сверхплотном холодном водороде / Я. Б. Зельдович // Журн. эксперим. и теорет. физики. – 1957. – Т. 33, № 4 (10). – С. 991–993.
4. Клищенко, А. П. Астрономия : учеб. пособие / А. П. Клищенко, В. И. Шупляк – М. : Новое знание, 2004. – 224 с.: ил.
5. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика : учеб. пособие для вузов : в X т. / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. – 2-е изд., перераб. – М. : Наука, 1969–1980. – Т. IV: Квантовая электродинамика / В. Б. Берестецкий, Е. М. Лифшиц, Л. П. Питаевский. – 1980. – 704 с.