уточненные аппроксимации сечений и скоростей термоядерных реакций

1Топор О.И., 1Федоров И.А., 1,2Белов А.А., 3Калиткин Н.Н.

1Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, физический  
 факультет, г. Москва, Россия  
2Российский университет дружбы народов им. П. Лумумбы, факультет  
 физико-математических и естественных наук, г. Москва, Россия  
3Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша, г. Москва, Россия

***Введение.*** Для расчета задач управляемого термоядерного синтеза (УТС) требуется знать зависимости скоростей термоядерных реакций  от температуры. Важнейшими являются реакции , , , , однако нередко учитывают значительное количество других реакций [1]. Скорости реакций получают из экспериментально измеренных зависимостей сечений реакций  от энергии. Существует много экспериментальных работ [2], но точность большинства из них невелика.

***Выбор реакций.*** Мы рассматривали реакции, удовлетворяющие двум условиям. Первое – значимость по сравнению с реакциями  и  в диапазоне энергий, актуальном для проблем УТС ( кэВ). Учитывались такие реакции, сечения которых составляют не менее 1% от сечения указанных эталонных реакций. Второе условие – наличие данных по сечениям при достаточно низких энергиях, начиная с которых возможна экстраполяция сечений вниз по энергии согласно формуле Гамова. При такой экстраполяции S-фактор, равный сечению, деленному на квазиклассическую проницаемость кулоновского барьера, продолжается на низкие энергии как константа.

Оказалось, что из более 50 реакций, указанных в [1], лишь одна реакция  удовлетворяет сформулированным условиям. Заметим, что в астрофизических задачах (например, взрывы сверхновых) достигаемые температуры значительно выше, чем в установках УТС. Поэтому отбор существенных реакций нужно проводить по более мягким критериям, и перечень реакций окажется шире.

***Сечение.*** Для выбранной реакции была построена аппроксимация S-фактора с помощью предложенного нами ранее регуляризованного метода двойного периода [3]. В этом методе строится аппроксимация непериодической функции в виде специфического переопределенного ряда Фурье. При этом вводится штраф за большие значения второй производной аппроксимирующей кривой, что позволяет бороться с нефизичными осцилляциями. Для этого метода разработана процедура, позволяющая находить доверительный интервал аппроксимирующей кривой. Для рассматриваемой реакции точность аппроксимации составила всего 0.1% в диапазоне 2 кэВ – 5 МэВ.

***Скорость реакции.*** Домножая найденный S-фактор на множитель Гамова и свертывая его с максвелловским распределением скоростей, найдем скорость реакции  численным интегрированием. Доверительный интервал полученной скорости реакции был равен ~1%.

Литература

1. Абрамович С.Н., Гужовский Б.Я., Жеребцов В.А., Звенигородский А.Г. Ядерно-физические константы термоядерного синтеза. Справочное пособие. М.: 1989.
2. NEA Data Bank – Nuclear Data Services. http://www.oecd-nea.org/janisweb/search/exfor
3. Белов А.А., Калиткин Н.Н. // ДАН. **470**:3 (2016), 266-270.