

Кафедра общей и теоретической физики

О. Кондрашов¹

Роль цепных реакций в жизнедеятельности человека

(научно-исследовательская работа)

Аннотация

В данной работе представлен обзор основ современной теории цепных реакций. С использованием метода математической индукции получено общее решение системы дифференциальных уравнений, описывающих зависимости количеств нераспавшихся ядер первых n -элементов цепочки распадов $A_1 \rightarrow A_2 \rightarrow A_3 \rightarrow A_4 \rightarrow \dots \rightarrow A_{n-1} \rightarrow A_n \rightarrow \dots$, как в частном случае (в начальный момент времени $t = 0$ присутствовал лишь изотоп A_1 , в количестве N_{01}), так и в общем случае (в начальный момент времени присутствовала смесь изотопов $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n, \dots$, в количестве $N_{01}, N_{02}, N_{03}, \dots, N_{0n}, \dots$). Выполнен количественный анализ двух реакций воспроизводства ядерного горючего – ${}_{94}^{239}\text{Pu}$, ${}_{92}^{233}\text{U}$, протекающих в ядерных реакторах, вместе с цепными реакциями распада ${}_{92}^{235}\text{U}$. Представлена простейшая модель расчета критической массы для шара из ядерного топлива без учета отражающей оболочки.

Комментарии: работа выполнена под научным руководством старшего преподавателя кафедры общей и теоретической физики СамГУ, к.ф.-м.н., Филиппова Ю.П.² и представлена на XVII Всероссийской научно-практической конференции для одаренных школьников «Intel-Династия-Авангард 2008». Отмечена дипломом победителя второй степени в секции "Теоретическая физика".



Работа выставлена на **ASTRODROME**: 27.01.2008

¹E-mail:

²E-mail:yuphil@ssu.samara.ru

Оглавление

Введение	3
1 Элементы общей теории цепных реакций	6
1.1 История открытия и исследования цепных реакций	6
1.2 Общие представления о механизме цепных реакций	10
1.3 Условия реализации цепной реакции	12
1.4 Основные стадии цепной реакции	14
1.5 Классификация цепных реакций	15
1.6 Особенности цепных ядерных реакций	20
2 Количественный анализ некоторых процессов	26
2.1 Расчет количества ядер произвольного элемента цепочки распада. Частный случай	26
2.2 Расчет количества ядер произвольного элемента цепочки распада. Общий случай	30
2.3 Расчет массы вещества произвольного элемента цепочки распадов	32
2.4 Численный анализ и результаты	33
2.5 Простейшая модель расчета критической массы шара из ядерного топлива	36
Заключение	44
Литература	46
Приложения	47
А. Оценка эффективного сечения взаимодействия нейтрона с ядром	47
В. Расчет телесного угла для сектора шара	49

Введение

Актуальность работы. **Цепные реакции** – это химические и ядерные реакции, в которых появление промежуточной активной частицы (свободного радикала, атома или возбужденной молекулы – в химических, нейтрона – в ядерных процессах) вызывает большое число (цепь) превращений исходных молекул или ядер вследствие регенерации активной частицы в каждом элементарном акте реакции (в каждом звене цепи) [1]. *Цепные реакции играют принципиально важную роль в жизнедеятельности человека, а именно, в производстве материалов, топлива, энергии.* Приведем ряд примеров.

- Благодаря цепным химическим реакциям полимеризации непредельных соединений (которые используют в технологиях химической промышленности) получают такие материалы, как поливинилхлорид, полистирол, полиэтилен, политетрафторэтилен и многие другие материалы, часто используемые для изготовления предметов повседневного обихода.
- Многочисленные реакции окисления органических веществ кислородом позволяют получить из природного углеводородного сырья спирты, кетоны, кислоты.
- Осуществляя крекинг нефти, получают этилен и моторные топлива. На цепных реакциях основано производство различных хлорсодержащих органических веществ: растворителей, хладоагентов.
- Основой любой современной атомной электростанции является **ядерный реактор** – устройство, в котором поддерживается управляемая цепная ядерная реакция деления. Данная реакция является *экзотермической*, поэтому при работе реактора происходит выделение тепла. Это тепло перерабатывают в электроэнергию. Сегодня атомные электростанции – самые мощные и экологически чистые источники энергии.
- В природе также протекают некоторые виды цепных химических реакций. В частности, существуют два "крупнотоннажных" атмосферных процесса: соокисление метана и NO до формальдегида и NO_2 и протекающий в атмосферных облаках процесс формирования кислотных дождей.

Важно отметить, что основоположниками теории химических цепных реакций является немецкие ученые Макс Боденштейн и Вальтер Нернст [2, 3]. В Советском союзе определяющий вклад в становление и развитие теории цепных химических реакций сделали Н. Н. Семенов, В. Н. Кондратьев, В. В. Воеводский. Этими людьми были заложены основы общей теории таких процессов [4, 5].

После открытия в 1939 г. немецкими учеными О. Ганом и Ф. Штрассманом деления ядер урана нейтронами, Ф. Жолио-Кюри с сотрудниками, Э. Ферми, У. Зинн и Л. Силард (США) и Г. Н. Флеров показали, что при делении ядра урана вылетает больше 1 нейтрона [6, 7]. Эти ученые заложили основы общей теории цепных ядерных реакций. Цепная ядерная реакция впервые была осуществлена Э. Ферми в 1942 [8]. Значительный вклад в изучение таких процессов внесли и советские ученые – Я.Б. Зельдович и Ю.Б. Харитон [9].

В настоящее время исследования цепных химических и ядерных реакций являются приоритетными направлениями в современной физике и химии. В мире к этим направлениям приковано внимание многих тысяч специалистов из сотен университетов и научных институтов. Столь пристальное внимание к данным процессам обусловлено не только их большой важностью в жизнедеятельности человека. Дело в том, что цепные реакции – это саморазвивающиеся процессы, со сложной динамикой, зависящие от многих факторов. Для многих современных и бурно развивающихся направлений физики, таких как синергетика, нелинейная квантовая механика, цепные реакции являются удобным объектом исследований, здесь могут быть проверены многие гипотезы. Несмотря на большие успехи в изучении природы таких реакций, существует много нерешенных задач и актуальных проблем, требующих неотложного решения.

В связи со сказанным главной целью настоящей работы является ознакомление с элементами общей теории цепных реакций, проведение детального сравнительного анализа цепных химических и ядерных реакций и количественного анализа двух цепочек радиоактивных распадов, сопровождающих цепную ядерную реакцию деления урана.

Согласно сформулированной цели основными задачами настоящей работы являются следующие положения:

1. Проведение литературного обзора по данной тематике; написание главы, включающей в себя как исторический очерк по вопросам открытия и изучения цепных реакций, так и сравнительный анализ химических и ядерных цепных реакций.
2. Расчет количеств ядер и масс химических элементов, выделяющихся в двух цепочках радиоактивных распадов (как функций времени), сопро-

вождающих цепную реакцию деления урана ${}_{92}^{235}\text{U}$ и являющихся важными источниками для получения ядерного топлива – ${}_{94}^{239}\text{Pu}$, ${}_{92}^{233}\text{U}$.

3. Построение простейшей модели расчета критической массы для шара из ядерного горючего и апробация результатов на примере чистых изотопов ${}_{92}^{233}\text{U}$, ${}_{92}^{235}\text{U}$, ${}_{94}^{239}\text{Pu}$.

Побочной задачей настоящей научно-исследовательской работы является освоение нами следующего программного обеспечения: системы аналитических вычислений Mathematica5.0; текстового процессора MikTeX+WinEdt5.3; программ-просмотрщиков GhostScript+GSView 4.8; программы для создания и обработки векторной графики Corel Draw 12. Мы используем пробные, ознакомительные версии этих программных продуктов.

Основными методами решения поставленных задач являются:

1. Элементы интегро-дифференциального исчисления.
2. Элементы стереометрии.
3. Законы радиоактивного распада и законы сохранения энергии, заряда, массового числа.

Данная работа имеет следующую структуру.

В **первой главе** представлены элементы общей теории цепных реакций.

Во **второй главе** представлен количественный анализ двух цепочек последовательных распадов, сопровождающих цепную реакцию деления урана ${}_{92}^{235}\text{U}$. Здесь же представлена простейшая модель расчета критической массы для шара из ядерного горючего и численный расчет критических параметров для основных видов ядерного топлива.

Резюме по проделанной работе представлено в **заключении**. Финальная часть работы содержит список использованных источников и два приложения.