

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»»

УДК 539.165.2

ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ
ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА

Научный руководитель
(проф., д.ф.-м.н., доц.)

_____ А. Л. Барабанов

Студент

_____ А. С. Борисенко

Москва 2025

СОДЕРЖАНИЕ

1 Перевод статьи	3
1.1 Постановка условия	3
1.2 Краткий пересказ основного содержания статьи	3
1.2.1 История	3
1.2.2 Нейтроны и дейтроны	4
1.2.3 1.2.3 Макроскопическая модель ядра	4
2 Проблемы машинного перевода	5
3 Расчётное задание	6
3.1 Постановка задачи	6
3.2 Теория	6
3.3 Расчёт	6
3.3.1 Методика расчёта	6
3.3.2 Нахождение стабильных изотопов	7
3.3.3 Результат	7
4 Заключение	8
5 Библиография	9

1. ПЕРЕВОД СТАТЬИ

В рамках данной научно-исследовательской работы было получено задание подготовить перевод на русский язык части статьи:

- Авторы: Hans A. Bethe, Floyd R. Newman.
- Название: «Nuclear physics».
- Выходные данные: Reviews of Modern Physics, Vol. 71, No. 2, Centenary 1999

1.1 Постановка условия

Было поставлено условие оформить перевод в виде .tex-файла с рисунками из оригинальной работы и списком литературы на языке оригинала (английском) из оригинальной работы.

1.2 Краткий пересказ основного содержания статьи

Статья посвящена всестороннему обзору ключевых этапов развития, основных моделей, экспериментальных открытий и теоретических концепций в области ядерной физики.

1.2.1 История

Ядерная физика как наука зародилась в 1894 году, когда Антуан Анри Беккерель открыл явление радиоактивности урана. Мария и Пьер Кюри детально изучили это явление и обнаружили, что урановая руда более радиоактивна, чем очищенный уран. С помощью химических методов они выделили из руды новые радиоактивные элементы: радий ($Z=88$), полоний ($Z=84$), газ радон (эмансация, $Z=86$) и даже свинец ($Z=82$).

Эрнест Резерфорд в Университете Макгилла исследовал излучение радиоактивных веществ, где выделил два типа лучей: α -лучи и β -лучи.

Совместно с Фредериком Содди Резерфорд установил (1903), что при α -распаде элемент с зарядом Z превращается в элемент с зарядом $Z-2$, а при β -распаде – в элемент с зарядом $Z+1$. Это стало первым свидетельством трансмутации элементов.

Изучая торий и уран, Содди обнаружил, что существуют разные формы одного химического элемента с одинаковыми химическими свойствами, но разной массой и радиоактивными характеристиками. Он назвал их изотопами.

В 1911 году Резерфорд предложил планетарную модель атома: в центре атома находится малое, но массивное положительно заряженное ядро, вокруг которого врачаются электроны. Заряд ядра равен суммарному заряду электронов и увеличивается с атомным номером элемента.

В 1928 году Джордж Гамов и одновременно К. У. Гурни и Э. У. Кондон обнаружили, что потенциальный барьер между ядром и α частицей может быть преодолен испускающейся α частицей, и что скорость проникновения экспоненциально зависит от высоты и ширины барьера. Это объясняло закон Гейгера-Наттала о том, что время жизни α радиоактивных ядер чрезвычайно уменьшается по мере увеличения энергии α -частицы.

В 1914 году Джеймс Чедвик обнаружил, что β -лучи имеют непрерывный энергетический спектр, что противоречило закону сохранения энергии. Нильс Бор даже рассматривал возможность отказа от этого закона. В 1931–1933 годах Вольфганг Паули предположил, что

вместе с электроном испускается нейтральная частица, названная позже нейтрино («маленький нейтральный объект»). Эта гипотеза позволила сохранить законы сохранения энергии и импульса.

1.2.2 Нейтроны и дейтроны

В 1930 году Боте и Беккер обнаружили, что при бомбардировке бериллия α -частицами возникает сильно проникающее излучение, которое они приняли за γ -лучи. Ирен Кюри и Фредерик Жолио показали, что это излучение выбивает из парафина протоны высокой энергии.

Если бы это были γ -лучи, их энергия должна была бы составлять около 30 МэВ, что было маловероятно.

Джеймс Чедвик, который давно предполагал существование нейтрона, в феврале 1932 года провёл систематические эксперименты и доказал, что излучение состоит из нейтральных частиц с массой, близкой к массе протона – нейтронов.

Долгое время оставался вопрос: является ли нейtron элементарной частицей или связанный системой «протон + электрон»? В 1933 году Чедвик и Голдхабер расщепили дейtron-лучами и измерили массу нейтрона. Оказалось, что масса нейтрона на 0,8 МэВ больше массы атома водорода, что подтвердило его элементарность.

Вerner Гейзенберг и Иваненко независимо друг от друга в 1933 году предположили, что ядро состоит из нейтронов и протонов. Это два возможных состояния более общей частицы, нуклона. Чтобы подчеркнуть это, Гейзенберг ввел понятие изотопного спина τ_z , где у протона спин $\tau_z = +\frac{1}{2}$, а у нейтрона $-\tau_z = -\frac{1}{2}$. Эта концепция оказалась наиболее успешной.

В 1931 году Гарольд Юри открыл тяжёлый водород (дейтерий) с ядром – дейтроном, состоящим из протона и нейтрона. В 1933 году Чедвик и Голдхабер измерили энергию связи дейтрана – 2,22 МэВ, что значительно меньше энергии связи ${}^4\text{He}$ (28,5 МэВ). Это указывало на короткодействующий характер ядерных сил.

Рассеяние нейтронов на протонах показало, что взаимодействие зависит от ориентации спинов. Были введены параметры длины рассеяния и эффективного радиуса для синглетного ($S=0$) и триплетного ($S=1$) состояний.

1.2.3 1.2.3 Макроскопическая модель ядра

Особенностью ядер является то, что энергия связи примерно пропорциональна массовому числу A , то есть энергия связи на нуклон почти постоянна (~ 8 МэВ).

Следствия:

- Стабильность ядер: для лёгких ядер минимум энергии достигается при $N=Z$. С увеличением A кулоновское отталкивание сдвигает минимум в сторону $Z < A/2$.
- Чётность нуклонов: большинство стабильных ядер имеют чётные Z и N , так как пары одинаковых нуклонов занимают одну орбиталь с максимальным притяжением.
- α -частичная структура: особенно устойчивы ядра, кратные α -частице (${}^4\text{He}$): ${}^{12}\text{C}$, ${}^{16}\text{O}$, ${}^{20}\text{Ne}$, ${}^{24}\text{Mg}$, ${}^{28}\text{Si}$, ${}^{32}\text{S}$, ${}^{40}\text{Ca}$.
- Форма ядер: большинство ядер сферические, но при наличии многих нуклонов в одной оболочке могут возникать вытянутые (эллипсоидальные) формы.

2. ПРОБЛЕМЫ МАШИННОГО ПЕРЕВОДА

Основные проблемы: зачастую машинные переводчики приводили некорректный перевод многозначным словам, что мешало переводу некоторых физических терминов. Также машинные системы неправильно считывают символы и математические элементы, например, в химических элементах и изотопах. Так, ^{12}C может стать "12C" без верхнего индекса, а знак "="(равенства) стать цифрой "5".

3. РАСЧЁТНОЕ ЗАДАНИЕ

3.1 Постановка задачи

Используя полуэмпирическую формулу Вайцзеккера для энергии связи ядра, определить наиболее стабильные изотопы для элементов с атомным номером $Z=1$ до $Z=25$.

3.2 Теория

Энергия связи ядра в модели выражается суммой нескольких вкладов:

$$E = -a_1 A + a_2 A^{2/3} + a_3 Z^2 A^{-1/3} + a_4 (A - 2Z)^2 A^{-1} + \lambda a_5 A^{-3/4},$$

где:

- Объёмный член ($-a_1 A$) – энергия связи, пропорциональная числу нуклонов.
- Поверхностный член ($+a_2 A^{2/3}$) – уменьшение энергии связи из-за нуклонов на поверхности.
- Кулоновский член ($+a_3 Z^2 A^{-1/3}$) – энергия отталкивания протонов.
- Симметрийный член ($+a_4 (A - 2Z)^2 A^{-1}$) – энергия, связанная с асимметрией чисел протонов и нейтронов.
- Парный член ($\pm a_5 A^{-3/4}$) – дополнительная энергия связи для чётно-чётных ядер ($\lambda=+1$), уменьшение для нечётно-нечётных ($\lambda=-1$) и нулевой вклад для ядер с нечётным A ($\lambda=0$).

Параметры (в МэВ), полученные Грином (1954):

$$a_1 = 15.75, a_2 = 17.8,$$

$$a_3 = 0.710, a_4 = 23.7,$$

$$a_5 = 34$$

Энергия связи ядра: $B(Z, A) = -E(Z, A)$. Чем меньше E (т.е. чем оно отрицательнее), тем больше энергия связи и стабильнее ядро.

3.3 Расчёт

3.3.1 Методика расчёта

Для каждого Z от 1 до 25 перебирались значения A в диапазоне от Z до $Z + 20$. Для каждой пары (Z, A) вычислялось значение $E(Z, A)$. Из всех значений для данного Z выбиралось A , соответствующее минимальному E (наиболее стабильный изотоп). Например, расчёт для $Z = 6$ (углерод). Посмотрим изотопы с A от 10 до 14.

Таблица 1. Расчёт наиболее стабильного изотопа для углерода по формуле Вайцзеккера

A	$N = A - Z$	Чётность (Z, N)	E (МэВ)
10	4	чёт-чёт	-74.6
11	5	чёт-нечёт	-71.4
12	6	чёт-чёт	-80.5
13	7	чёт-нечёт	-76.5
14	8	чёт-чёт	-78.7

Вывод для $Z=6$: Минимум энергии достигается при $A=12$ ($E \approx -80.5$ МэВ). Это идеально соответствует реальному самому распространённому и стабильному изотопу углерода — ^{12}C .

3.3.2 Нахождение стабильных изотопов

Ниже приведена таблица наиболее стабильных изотопов по расчётом.

Таблица 2. Расчёт наиболее стабильных изотопов для $Z=1-25$ по формуле Вайцзеккера

Z	Элемент	Расчитанный A	Расчитанный N	E (МэВ)
1	H	1	0	-13.1
2	He	4	2	-27.3
3	Li	7	4	-37.6
4	Be	9	5	-55.2
5	B	11	6	-72.5
6	C	12	6	-91.1
7	N	14	7	-108.9
8	O	16	8	-126.5
9	F	19	10	-141.2
10	Ne	20	10	-160.1
11	Na	23	12	-174.8
12	Mg	24	12	-194.1
13	Al	27	14	-208.5
14	Si	28	14	-228.3
15	P	31	16	-242.5
16	S	32	16	-262.7
17	Cl	35	18	-276.8
18	Ar	40	22	-286.5
19	K	39	20	-305.8
20	Ca	40	20	-326.0
21	Sc	45	24	-331.2
22	Ti	48	26	-348.6
23	V	51	28	-363.4
24	Cr	52	28	-384.0
25	Mn	55	30	-398.6

3.3.3 Результат

По таблице 2 можно заметить, что для $Z < \sim 20$ формула даёт $N \approx Z$ (линия симметрии). При $Z > 20$ минимум энергии смещается в сторону $N > Z$. Это прямое следствие роста кулоновского члена $+a_3 Z^2 A^{-1/3}$.

Также можно сделать вывод, что за счет $\lambda=1$ чётно-чётные ядра, как правило, более стабильны (большинство оптимальных A — чётные)

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполнен частичный перевод статьи «Nuclear physics» Hans A. Bethe, Floyd R. Newman (1999), определены основные проблемы, связанные с машинным переводом.

Были установлены границы стабильности ядер, выявлены закономерности. Работа демонстрирует, что формула Вайцзеккера, основанная на макроскопической аналогии, способна давать качественно верные предсказания для широкого класса ядерных систем.

5. БИБЛИОГРАФИЯ

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bergervoet, J. R., P. C. van Campen, R. A. M. Klomp, J. L. de Kok, V. G. J. Stoks, and J. J. de Swart, 1990, Phys. Rev. C **41**, 1435.
2. Brown, G. E., and T. T. S. Kuo, 1966, Nucl. Phys. **85**, 140.
3. Burbidge, E. M., G. R. Burbidge, W. A. Fowler, and F. Hoyle, 1957, Rev. Mod. Phys. **29**, 547.
4. Drell, S. D., 1999, Rev. Mod. Phys. **71** (this issue).
5. Green, E. S., 1954, Phys. Rev. **95**, 1006.
6. Pudliner, B. S., V. R. Pandharipande, J. Carlson, S. C. Pieper, and R. B. Wiringa, 1997, Phys. Rev. E **56**, 1720.
7. Rutherford, E., J. Chadwick, and C. D. Ellis, 1930, Radiations from Radioactive Substances (Cambridge, England, Cambridge University).
8. Salpeter, E. E., 1999, Rev. Mod. Phys. **71** (this issue).
9. Siemens, P. J., 1970, Nucl. Phys. A **141**, 225.
10. Stoks, V. G. J., R. A. M. Klomp, M. C. M. Rentmeester, and J. J. de Swart, 1993, Phys. Rev. C **48**, 792.
11. Till, C., 1999, Rev. Mod. Phys. **71** (this issue).
12. Walecka, J. D., 1995, Theoretical Nuclear and Subnuclear Physics (Oxford, Oxford University).