

Астрофизический нуклеосинтез

И.В.Панов

1. Введение. Звезды, Сверхновые и НЗ предмет ядерной астрофизики
Механизм выработки энергии в звездах
Основные характеристики звезд
Рождение звезды, химический состав звезд
Определение химического состава звезд
спектроскопия: линии поглощения и излучения, NLTE

основные параметры Солнца: образование, возраст, радиус, масса, светимость, температура на поверхности и в центре, средняя плотность на поверхности и в центре, удельное энерговыделение

3. 4 Ядерные эпохи: от Большого Взрыва до наших дней. Космическая шкала времени, температуры, плотности
Дозвездная стадия эволюции вселенной
Происхождение вещества
Первичный нуклеосинтез в горячей Вселенной
Нуклеосинтез в первые 3 минуты
n/p, зависимость от времени
образование He3, He4

ядерные реакции и нуклеосинтез
p, n, alpha, gamma - барьерные и безбарьерные
реакции распада, особенности бета и альфа распада
запаздывающие процессы

4. Распространенность элементов
общие законы и типы нуклеосинтеза во вселенной
а) схема кругооборота вещества во вселенной
б) нуклеосинтез в звезде:
в) выброс вещества межзвездную среду в конце эволюции звезды
г) изменение химического состава среды во вселенной

диаграмма распространенности - какие физические процессы вносят основной вклад в образование химических элементов с разной массой.
Где образуются, в каких объектах, на какой временной шкале;
классификация процессов нуклеосинтеза
кривая распространенности и карта ядер

5. Ядерные реакции в звездах
КЛАССИФИКАЦИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ,

Ядерные реакции, в т. числе при низких энергиях

эксперимент, теория, общие характеристики, законы сохранения
 - Горение водорода, Протон-протонная цепочка,
 CNO-цикл, Ne-цикл и Mg-Al-цикл

- Горение гелия. Красные гиганты
 Горение углерода и кислорода, Горение кремния

6. составное ядро, яд. ширины, сечение реакции
 фотореакции и деление ядер
 радиоактивные ряды и синтез трансуранов

скорости ядерных реакций
 астрофизический фактор
 аналитические формулы для термоядерных реакций
 скорости прямых и обратных реакций

7. *** ЯДЕРНАЯ Физика. *** (факультативно)

(1) свойства атомных ядер

(2.) ядерные силы, потенциал ядра

- Свойства ядерных сил
- Учет электромагнитного взаимодействия частиц
- Радиоактивный распад
- Слабое взаимодействие, бета-распад

(3). энергия связи атомных ядер - описание, теории, расчеты, сравнение
 массовые формулы и модели энергия связи и оболочечная модель ядра, роль МФ в
 расчете скоростей ядерных реакций

8. Механизмы образования новых элементов,
 термоядерные реакции

сильное взаимодействие,

электромагн. взаимодействие,

радиоактивный распад, альфа -распад

бета-распад и слабые вз-ия

теория ферми, графики кюри, бета-спектры, влияние кулон. поля
 силовая функция бета-распада, запаздывающие процессы, деление

9. Реакции под действием нейтронов, условия протекания,
 связь оболочечной модели и распространенности элементов в природе
 2 предельных случая нуклеосинтеза: s, r- процессы
 s-process - условия, особенности протекания теория, модели

10. r-процесс - принципиальные отличия от s-процесса, сходство
 точное решение уравнений r-процесса

11. динамические модели нуклеосинтеза, проблема зародышевых ядер и источник нейтронов

12. сценарии r-процесса

Основная и слабая компоненты R-процесса

слияние нейтронных звезд

горячий высокоэнтропийный ветер

взрывы сверхновых

Галактический нуклеосинтез и возраст вселенной

13. Образование легчайших ядер 2H , He , Li , Be , B

Проблема Li , Be , B , r-процесс и обойденные ядра

Другие механизмы образования обойденных ядер

Темы рефератов:

1) скорости реакций

2) Боровская теория яд.реакций

3) источники происхождения химических элементов.

4) источники энергии звезд.

5) Термоядерный котел в недрах Солнца и проблема солнечных нейтрино.

6) нейтрино в астрофизике

7) синтез элементов в звездах - от гелия до железа

8) r-процесс

9) Химический состав звезд.

Рекомендуемая литература

Основная литература

1. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т. V. Атомная и ядерная физика. – М.: ФИЗМАТЛИТ: Изд-во МФТИ. 2002. – 784 с. (15 экз.)

2. Широков Ю.М., Юдин Н.П. Ядерная физика. – М.: Наука. 1980 г., – 728 с. (6 экз.)

3. Ишханов Б.С., Капитонов И.М., Тутынь И.А.. Нуклеосинтез во Вселенной. – М., МГУ, 1999. (электр. версия: <http://nuclphys.sinp.msu.ru/nuclsynt/index.html>).

4. Гинзбург В.Л. Астрофизика космических лучей (история и общий обзор). Успехи физических наук. 1996 г. Том 166, № 2. С. 169-183. (электр. версия: <http://www.ufn.ru>)

5 Рубаков В.А.Физика частиц и космологии: состояние и надежды. Успехи физических наук. 1999 г. Том 169. № 12. С. 1299-1309. (электр. версия: <http://www.ufn.ru>).

7. Окунь Л.Б.Современное состояние физики элементарных частиц. Успехи физических наук. 1998 г. Том 168. № 6. С. 625-628. (электр. версия: <http://www.ufn.ru>).

8 Ленг. Астрофизические формулы

9 Ядерная астрофизика. - сборник статей под ред. Барнса

Дополнительная литература

1. Ишханов Б.С., Капитонов И.М., Юдин Н. П.. Частицы и атомные ядра. – М., МГУ. 2005. – 688 с.
2. Черепашук А.М., Чернин А.Д. Вселенная, жизнь, черные дыры. – М., Век 2., 2003.
- 3 Лучков, Июдин – конспект лекций МИФИ: ядерная астрофизика
- 4 Чечев, Крамаровский. 1987 Наука. Синтез элементов во вселенной
- 5 Вайнберг, 1981, М.Мир. - 3'
- 6 Бор, Моттelson т.1 Структура ат. ядра
- 7 В.Гольданский и др. Основы ядерной физики и техники. МИФИ 1974
- 8 Ракобольская, Яд. физика. МГУ.
- 9 Кривохатский, Романов. Получение трансурановых элементов.....
- Reviews:**
- 1 Фаулер УФН - 1985, т. 145
- 2 Imshennik+Nadyozhin УФН - 1988 т. 156
- 3 Arnould, Takahashi Nuclear Astrophysics 1999 Rep.Prog.Phys. 62
- 4 Гинзбург В.Л. Астрофизика космических лучей (история и общий обзор).
Успехи физических наук. 1996 г. Том 166, № 2. С. 169-183.
(электр. версия: <http://www.ufn.ru>)
- 5 Чечев УФН - 1999
- 6 Angulo Termonuclear Rates
- 7 Ядерная физика v.47,no.5,pp.1226-1237 (1988).
- 8 Fowler. Royal Astronomical Society, Quarterly Journal,
vol. 28, 1987, p. 87-108.
9. Ишханов Б.С., Капитонов И.М., Тутынь И.А.. Нуклеосинтез во Вселенной. - М., МГУ, 1999.

INTERNET обзоры

- | | |
|--------------|---|
| Машонкина | http://www.astronet.ru/db/msg/1171220 |
| Рыжов | http://www.astronet.ru/db/msg/1168075 |
| Пенионжкевич | http://www.astronet.ru/db/msg/1168026 |
| Ишханов | http://nuclphys.sinp.msu.ru/fission/index.html
http://nuclphys.sinp.msu.ru/nuclsynt/ |
| Нейтрино | http://lvd.ras.ru/history/
http://www.scientific.ru/journal/maha.html
http://www-sk.icrr.u-tokyo.ac.jp/sk/index-e.html |
| солнце | http://www.astronet.ru/db/msg/1202873 |