

The background of the cover is a deep blue space scene. In the upper left, a large, curved portion of a planet or moon is visible. In the upper right, a thin crescent moon is set against a dark sky with a few distant stars. The lower half of the cover features a bright, glowing blue nebula or comet tail that curves across the frame, creating a sense of depth and light.

А.А. Лагутин, В.В. Учайкин

**МЕТОД СОПРЯЖЕННЫХ
УРАВНЕНИЙ В ТЕОРИИ
ПЕРЕНОСА КОСМИЧЕСКИХ
ЛУЧЕЙ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

АЛТАЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

А.А. Лагутин, В.В. Учайкин

МЕТОД СОПРЯЖЕННЫХ
УРАВНЕНИЙ
В ТЕОРИИ ПЕРЕНОСА
КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ
ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

Монография



Барнаул

Издательство
Алтайского государственного
университета
2013

УДК 524.1; 539.12.04
Л 149

Рецензенты:

член-корр. РАН Г.А. Михайлов (ИВМ и МГ СО РАН, г. Новосибирск)
д.ф.-м.н. В.В. Рыжов (ИСЭ СО РАН, г. Томск)

Л 149 Лагутин, А.А.

Метод сопряженных уравнений в теории переноса космических лучей высоких энергий [Текст] : монография / А.А. Лагутин, В.В. Учайкин. — Барнаул : Изд-во Алт. ун-та, 2013. — 293 с.
ISBN 978-5-7904-1478-7

Содержит систематическое изложение концепции ценности и метода сопряженных уравнений в теории переноса космических лучей высоких энергий с учетом естественных флуктуаций в элементарных процессах взаимодействий частиц с атомами среды. В основу представленного подхода к теории переноса положено понятие детектора, показание которого трактуется как функционал, заданный на множестве реализаций марковского ветвящегося процесса. Подробно рассмотрены различные типы ценности: линейная детерминированная, линейная стохастическая, нелинейная ценности, ценность в случайной среде. Наряду с основными уравнениями переноса для плотности потоков частиц космических лучей выводятся и обсуждаются сопряженные (в смысле Лагранжа) уравнения для различных характеристик стохастической ценности. Рассматриваются важнейшие модели случайно-неоднородной среды и особенности переноса в них. Двойственный подход, опирающийся на обе (основную и сопряжённую) системы уравнений переноса, позволяет сформулировать закон сохранения ценности, концепцию контрибутонов, теорию возмущений. На основе этих понятий строится теория чувствительности и применяется для решения нескольких задач физики космических лучей.

Для специалистов в области ядерной физики, физики и астрофизики космических лучей, имеющих дело с измерениями или расчетами потоков частиц высокой энергии.

УДК 524.1; 539.12.04

*Издание публикуется в рамках реализации
Программы стратегического развития
Алтайского государственного университета*

ISBN 978-5-7904-1478-7 © А.А. Лагутин, В.В. Учайкин, 2013
© Оформление. Издательство Алтайского
государственного университета, 2013

Оглавление

Предисловие	9
Глава 1. Понятие ценности в теории переноса	11
1.1. Эволюция понятия ценности	11
1.2. Модель процесса переноса частиц	15
1.3. Процесс измерения и ценность	17
1.4. Среднее значение и дисперсия показания аддитивного детектора	21
1.5. Ценность как функционал от траектории частицы	26
Глава 2. Линейная детерминированная ценность	31
2.1. Уравнение для ЛДЦ	31
2.2. Двойственное представление показания аддитивного детектора	34
2.3. Основное уравнение теории переноса	38
2.4. Начальные и граничные условия	41
2.5. Сопряженная функция (ценность)	43
2.6. Сопряженное уравнение	47
2.7. Задачи с сокращенным числом переменных	52
2.8. Сохранение ценности	56
2.9. Контрибутоны	59
2.10. Каскадные процессы в атмосфере	62
2.11. Метод функций Грина и теорема взаимности	66
Глава 3. Линейная стохастическая ценность	69
3.1. ЛСЦ частицы в неразмножающей среде	69

3.2. Начальные и граничные условия. Примеры аддитивных функционалов	72
3.3. Некоторые частные случаи уравнений для ЛСЦ	75
3.4. Флуктуации числа столкновений в однородной среде	77
3.5. Кумулятивная ценность	82
3.6. Уравнение для функции распределения ЛСЦ каскадного процесса	85
3.7. Уравнения для ковариационной матрицы векторной ЛСЦ	89
Глава 4. Нелинейная стохастическая ценность	95
4.1. Понятие нелинейной ценности	95
4.2. Математическое ожидание показания неаддитивного детектора	96
4.3. Нелинейная ценность одной частицы в неразмножающей среде	98
4.4. Метод поливариантного разложения	101
4.5. Пуассоновский поток	105
4.6. Нелинейная ценность в теории метода Монте-Карло	111
4.7. Метод коррелированных оценок	115
4.8. Мультипликативная ценность частицы в размножающей среде	126
4.9. Производящие функционалы в каскадной теории	128
4.10. Метод ковариационной матрицы	132
Глава 5. Стохастическая ценность в случайной среде	135
5.1. Понятие случайной среды	135
5.2. Рандомизация среды методом сдвига	139
5.3. Стохастическая ценность в случайной среде	142
5.4. Гауссова (нормальная) среда	145
5.5. Однородная среда с включениями конечных размеров	148
5.6. Пуассоновская модель точечных включений	153
5.7. Среда марковского типа	158
5.8. Фазонная интерпретация марковской среды	163
5.9. Квазистационарная среда	169
5.10. Рассеяние и размножение частиц в случайной среде	174
Глава 6. Элементы теории чувствительности	181
6.1. Понятие чувствительности	181
6.2. Функциональная и параметрическая чувствительность	183

6.3. Коэффициенты чувствительности	186
6.4. Барометрические коэффициенты нейтронного монитора . . .	190
6.5. Температурные коэффициенты мюонной компоненты	193
6.6. Температурный эффект электронной компоненты ЭФК и ШАЛ	201
Глава 7. Чувствительность показаний подземных детекторов мюонов к вариациям спектра частиц на уровне моря	217
7.1. Вводные замечания	217
7.2. Спектр мюонов на уровне моря и потери энергии мюонов в веществе	218
7.3. Численный метод решения сопряженного уравнения пере- носа мюонов	221
7.4. Анализ сходимости метода решения сопряженного уравнения	226
7.5. Спектр мюонов на уровне моря по данным подземных экс- периментов	232
Глава 8. Вариации характеристик ЭФК, развивающихся в фо- тонном поле	239
8.1. ЭФК в фотонном поле	239
8.2. Сечение взаимодействия электронов и гамма-квантов с фо- тонным полем	242
8.3. Характеристики ЭФК в моноэнергетическом фотонном поле	245
8.4. Метод расчета вариаций	252
8.5. Вариации плотности без изменения формы спектра фотон- ного поля	255
8.6. Чувствительность характеристик ЭФК к изменению струк- туры фотонного поля	256
8.7. Спектры гамма-квантов ЯАГ и их вариации в каскадной модели	265
Библиографический список	273