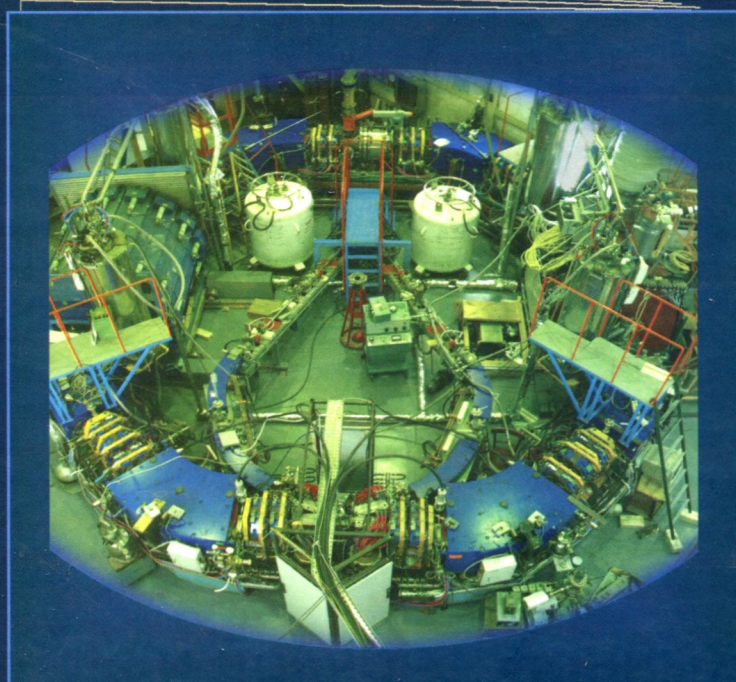


Ю.М. Шатунов

**Пучки поляризованных частиц
в ускорителях
и накопителях**



ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ им. Г.И. БУДКЕРА СО РАН

Ю.М. Шатунов

**ПУЧКИ ПОЛЯРИЗОВАННЫХ
ЧАСТИЦ В УСКОРИТЕЛЯХ
И НАКОПИТЕЛЯХ**

Ответственный редактор
академик *А.Н. Скринский*



НОВОСИБИРСК
ИЗДАТЕЛЬСТВО СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
2015

УДК 539.1
ББК 22.38
Ш29

Шатунов, Ю.М.

Ш29 Пучки поляризованных частиц в ускорителях и накопителях / Ю.М. Шатунов; отв. ред. А.Н. Скринский; Ин-т ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН. – Новосибирск: Издательство СО РАН, 2015. – 205 с.

Монография содержит краткий обзор теоретических и экспериментальных работ по ускорению поляризованных частиц в циклических ускорителях. Наряду с принципиальными вопросами рассмотрены технические приемы построения магнитной оптики электрон-позитронных и протонных колец, необходимые для получения поляризации на высоких энергиях. Особое внимание уделено постановке прецизионных экспериментов с использованием поляризованных частиц.

Книга рассчитана на научных сотрудников и инженеров, работающих в области физики высоких энергий и ускорительной техники, а также на аспирантов и студентов физических факультетов, специализирующихся в соответствующих специальностях.

Утверждено к печати Ученым советом
Института ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН

Рецензенты:

член-корреспондент РАН *А.Е. Бондарь*
доктор физико-математических наук *И.А. Кооп*

ISBN 978-5-7692-1421-9

© Шатунов Ю.М., 2015
© Издательство СО РАН, 2015

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
Глава 1. УРАВНЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ СПИНА	5
1.1. Спин и магнитный момент	–
1.2. Анализ уравнения движения спина	8
Глава 2. ДВИЖЕНИЕ СПИНА В ЦИКЛИЧЕСКИХ УСКОРИТЕЛЯХ	11
2.1. «Равновесная» траектория спина	–
2.2. Примеры нахождения «равновесной» траектории	13
2.3. «Возмущение» спинового движения	17
2.4. Линейные спиновые резонансы	19
2.4.1. Уединенный спиновый резонанс	22
2.4.2. Модуляционные резонансы	23
2.5. Функции спинового отклика	25
Глава 3. УСКОРЕНИЕ ПОЛЯРИЗОВАННЫХ ЧАСТИЦ	33
3.1. Пересечение спиновых резонансов на накопителе ВЭПП-2М	34
3.2. Ускорение поляризованных протонов	35
3.2.1. Протонный синхротрон У-70	36
3.3. Ускорение поляризованных протонов в синхротроне AGS	38
3.4. Ускорение поляризованных дейтронов	42
Глава 4. СПИНОВЫЕ РОТАТОРЫ И СИБИРСКИЕ ЗМЕЙКИ	46
4.1. Сибирские змейки на основе соленоидов	–
4.1.1. Проверка концепции Сибирской змейки на установке IUCF	48
4.1.2. Сибирская змейка на установке AmPS	50
4.2. Спиновые ротаторы с поперечным полем	53
4.3. Спиральные магниты для управления поляризацией	55
4.3.1. Орбитальное движение в спиральном магните (нулевое приближение)	58
4.3.2. Движение спина в спиральном магните в нулевом приближении	59
4.4. Сибирские змейки из спиральных магнитов	60
4.5. Спиновые ротаторы из спиральных магнитов	63
4.6. Частичные Сибирские змейки из спиральных магнитов	66
4.6.1. Схема частичных змеек для ускорения поляризованных протонов в синхротроне У-70	69
Глава 5. ПОЛЯРИЗОВАННЫЕ ПРОТОНЫ В НАКОПИТЕЛЕ RHIC	73
5.1. Змеечные резонансы	75
5.2. Ускорение поляризованных протонов в накопителе RHIC	78

Глава 6. ПОЛЯРИЗОВАННЫЕ ЭЛЕКТРОНЫ	82
6.1. Стохастическая деполяризация	83
6.2. Радиационная поляризация	88
6.3. Экспериментальное изучение радиационной поляризации	92
6.3.1. Эксперимент на накопителе ВЭПП-2	93
6.3.2. Спин и высокочастотное поле	97
6.4. Радиационная поляризация на накопителе ВЭПП-2М	100
6.5. Радиационная поляризация на накопителе SPEAR	106
6.6. Радиационная поляризация при высоких энергиях	109
6.7. Радиационная поляризация встречных пучков	117
6.8. Радиационная поляризация в накопителях с Сибирскими змейками	122
Глава 7. ПРЕЦИЗИОННЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ С ПОЛЯРИЗОВАННЫМИ ПУЧКАМИ	130
7.1. Разброс спиновых частот в накопителе	–
7.2. Прецизионные измерения масс частиц на накопителе ВЭПП-2М	134
7.2.1. Измерение массы Φ -мезона	–
7.2.2. Измерение масс K^+ - и K^- -мезонов	135
7.2.3. Стабильность энергии накопителя	136
7.2.4. Измерение массы нейтрального каона	138
7.2.5. Измерение массы ω -мезона	140
7.2.6. Прецизионное сравнение аномальных магнитных моментов электрона и позитрона	142
7.3. Прецизионные измерения на накопителе ВЭПП-4	147
7.3.1. Прецизионные измерения масс ψ -семейства	148
7.3.2. Измерения масс D^0 - и D^+ -мезонов	154
7.3.3. Лазерный поляриметр на накопителе ВЭПП-4	–
7.3.4. Прецизионные измерения масс Υ -мезонов	157
7.3.5. Наблюдение спиновой зависимости синхротронного излучения	160
7.4. Измерение аномального магнитного момента мюона	163
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	169
Приложение А. ОРБИТАЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ	178
А.1. Уравнения движения в линейном приближении	–
А.1.1. Движение при слабой связи x - и z -колебаний	180
А.1.2. Радиальное движение с учетом второго приближения	181
А.1.3. Орбитальное движение в гамильтоновых переменных	182
А.1.4. Вектор Υ для преобразования спин-орбитальных функций в магнитах	184
Приложение В. СИНХРОТРОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ (ПОЗИТРОНОВ)	186
В.1. Влияние излучения на движение электрона	187
Приложение С. МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПОЛЯРИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОННЫХ ПУЧКОВ	191
С.1. Измерение поляризации электронов по комптоновскому рассеянию	–
С.1.1. Комптоновское рассеяние синхротронного и ондуляторного излучений	193
С.2. Измерение поляризации по упругому рассеянию	198
С.2.1. Измерение поляризации по рассеянию внутри сгустка	199
С.2.2. Измерение поляризации встречных пучков	201