

В.П. Милантьев

**ФИЗИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ
УСКОРЕНИЯ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ**

Учебное пособие

**Москва
Российский университет дружбы народов
2011**

УДК 621.384.6
ББК 22.381.1
М 60

Утверждено
РИС Ученого совета
Российского университета
дружбы народов

Рецензент –
доктор физико-математических наук, профессор *В.И. Санюк*

Милантьев, В.П.

М 60 Физические принципы ускорения заряженных частиц
[Текст] : учеб. пособие / В.П. Милантьев. – М. : РУДН,
2011. – 124 с.: ил.

ISBN 978-5-209-03636-4

В данном пособии изложены основные физические механизмы ускорения заряженных частиц, как традиционные, так и альтернативные, и рассмотрены основные типы ускорителей, использующих эти механизмы. Пособие представляет собой введение в физику ускорителей. Вопросы техники ускорителей не рассматриваются. Для более полного изучения проблемы ускорителей следует обратиться к специальным руководствам.

Пособие основано на конспектах лекций, которые автор в течение ряда лет читал для студентов-физиков РУДН. Оно может быть полезно также для всех интересующихся современными проблемами физики.

ISBN 978-5-209-03636-4

ББК 22.381.1

© Милантьев В.П., 2011

© Российский университет дружбы народов, Издательство, 2011

ВВЕДЕНИЕ

Блестящие эксперименты Резерфорда по рассеянию альфа-частиц, источниками которых являлись *радиоактивные элементы*, привели к открытию атомного ядра. После открытия позднее Резерфордом протона и осуществления первого искусственного превращения ядер (1919 г.) с помощью тех же альфа-частиц стало ясно, что для исследования строения ядер необходимо иметь направленные пучки заряженных частиц больших энергий. Возникла идея о создании ускорителей – устройств для получения таких частиц. С их созданием необходимость использования радиоактивных препаратов отпала. Ускорители позволили получать направленные пучки заряженных частиц с большой интенсивностью, эквивалентной десяткам и сотням килограммов естественных радиоактивных веществ. В этом было огромное преимущество ускорителей как инструментов в ядерной физике. Источниками частиц высоких энергии могут служить также потоки частиц, рождаемых в космическом пространстве, – *космические лучи*. Однако интенсивность этих источников очень мала, и она быстро убывает с ростом энергии частиц.

В 20-х гг. XX в. было высказано немало идей об ускорении частиц, но в то время не все они могли быть реализованы по техническим причинам. Любой физический механизм ускорения связан с приобретением энергии заряженными частицами за счет работы электрического поля. Магнитное поле, как известно, может изменить только направление вектора скорости частицы, а не его величину. Для ускорения используют статические, индукционные, высокочас-

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Глава 1. Основные типы линейных ускорителей	12
1.1. Высоковольтные ускорители	12
1.2. Линейные резонансные ускорители	17
1.3. Фазовые колебания в линейном резонансном ускорителе ...	24
Глава 2. Циклические ускорители	32
2.1. Бетатрон	32
2.2. Принцип жесткой фокусировки	41
2.3. Ускорители с постоянным магнитным полем	46
2.4. Ускорители с постоянным радиусом орбиты	50
2.5. Синхротронное излучение	53
Глава 3. Встречные пучки частиц и накопительные кольца	57
3.1. Столкновения частиц	57
3.2. Светимость встречных пучков	62
3.3. Охлаждение пучков заряженных частиц	65
3.4. Современные коллайдеры	71
Глава 4. Коллективные методы ускорения	79
4.1. Общий обзор коллективных методов ускорения	79
4.2. Когерентные методы ускорения	81
4.3. Ускорение электронных колец	84
4.4. Механизмы лазерно-плазменного ускорения	86

Глава 5. Лазерное вакуумное ускорение	92
5.1. Механизмы вакуумного ускорения электронов лазерным излучением.....	92
5.2. Пондеромоторное ускорение.....	94
5.3. Механизм циклотронного авторезонанса.....	96
Глава 6. Другие альтернативные методы ускорения	104
6.1. Механизм гиромагнитного авторезонанса.....	104
6.2. Обращенный лазер на свободных электронах.....	107
6.3. Ускорение при обращенном эффекте Черенкова.....	109
6.4. Серфотронное ускорение	110
6.5. Кильватерное ускорение в волноводах.....	113
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	115
ЛИТЕРАТУРА	116
ОПИСАНИЕ И ПРОГРАММА КУРСА	117