

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Є. С. Шматко, І. О. Гірка, В. М. Карташов

ПРОХОДЖЕННЯ ІОНІЗУЮЧИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ КРІЗЬ РЕЧОВИНУ

Навчальний посібник

Рекомендовано Міністерством освіти і науки,
молоді та спорту України

Харків – 2013

УДК 539.121.7:535.14(075.8)

ББК 22.386я73-1

Ш 71

Рецензенти:

М. Ф. Шульга – директор Інституту теоретичної фізики імені О. І. Ахієзера ННЦ ХФТІ, академік НАН України, доктор фізико-математичних наук, професор;

І. М. Каденко – завідувач кафедри ядерної фізики Київського національного університету імені Тараса Шевченка, доктор фізико-математичних наук, професор;

В. Т. Лазурик – завідувач кафедри моделювання систем і технологій Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, доктор фізико-математичних наук.

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки, молоді та спорту України
як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів
(Лист № 1/11-4844 від 15.06.2011 року)*

Шматко С. С.

Ш 71 Проходження іонізуючих випромінювань крізь речовину : навчальний посібник / С. С. Шматко, І. О. Гірка, В. М. Карташов. – Х. : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2013. – 132 с.

ISBN 978-966-623-821-7

Навчальний посібник адресовано студентам університетів України спеціальності «Експериментальна ядерна фізика і фізика плазми». Розглянуто електромагнітні процеси взаємодії заряджених частинок і рентгенівського та гамма-випромінювань із аморфною речовиною. Наведено низку задач із розв'язанням за матеріалами посібника.

УДК 539.121.7:535.14(075.8)

ББК 22.386я73-1

ISBN 978-966-623-821-7

© Харківський національний університет
імені В. Н. Каразіна, 2013

© Шматко С. С., Гірка І. О., Карташов В. М., 2013

© Дончик І. М., макет обкладинки, 2013

ЗМІСТ

Вступ	6
1. Кулонове розсіяння заряджених частинок	8
1.1. Поняття про ефективний поперечний переріз взаємодії частинок і випромінювань.....	8
1.2. Середня довжина вільного пробігу заряджених частинок, класифікація мішеней за товщиною.....	9
1.3. Формула Резерфорда для кулонового розсіяння заряджених частинок.....	11
1.4. Формули Мотта. Формфактори ядер. Борнове наближення. Розподіл заряду в ядрах.....	15
1.5. Багаторазове кулонове розсіяння легких заряджених частинок.....	24
1.6. Розсіяння електронів і позитронів на атомних електронах. Дельта-електрони.....	30
2. Іонізаційні втрати енергії заряджених частинок	33
2.1. Максимальна енергія, яку передано від частинки, що налітає, атомному електрону.....	33
2.2. Іонізаційні втрати енергії важких заряджених частинок. Поправка на ефект оболонки та ефект густини.....	34
2.3. Іонізаційні втрати енергії електронів і позитронів.....	39
2.4. Іонізаційні потенціали різних елементів.....	40
2.5. Гальмівна здатність складних речовин.....	43
2.6. Крива Бета-Блоха.....	44
2.7. Флуктуації іонізаційних втрат енергії (флуктуації Ландау).....	44
2.8. Довжина повного пробігу заряджених частинок. Крива Бреґга. Страгглінг.....	48

3. Радіаційні втрати енергії заряджених частинок.....	51
3.1. Загальні співвідношення для радіаційної гальмівної здатності.....	51
3.2. Гальмівне випромінювання електрона в кулоновому полі ядра. Нерелятивістський та релятивістський випадки.....	53
3.3. Екранування кулонового поля ядра кулоновим полем атомних електронів при ультрарелятивістських енергіях.....	55
3.4. Гальмівне випромінювання при взаємодії електрона, що налітає, з атомним електроном.....	58
3.5. Повні радіаційні втрати електронів у речовині.....	60
3.6. Радіаційна довжина в ультрарелятивістському випадку.....	60
3.7. Ефект Ландау-Померанчука-Мігдала (ЛПМ).....	62
3.8. Гальмівне випромінювання мюона.....	63
4. Взаємодія рентгенівського та гамма-випромінювань із речовиною.....	64
4.1. Фотоефект на К-оболонці атома. Внесок інших атомних оболонок. Кутовий розподіл фотоелектронів.....	64
4.2. Комптон-ефект. Кінематичні співвідношення. Диференціальні перерізи за кутом та енергією. Повний поперечний переріз.....	68
4.3. Зворотний Комптон-ефект.....	75
4.4. Утворення електронно-позитронних пар. Ситуація поблизу порога народження. Позитроній. Релятивістський та ультрарелятивістський випадки. Екранування. Ефект ЛПМ.....	77
4.5. Ефект Чудакова.....	80
4.6. Анігіляція позитронів.....	81
4.7. Повний поперечний переріз взаємодії рентгенівського та гамма-випромінювань із речовиною. Лінійний і масовий	

коєфіцієнти ослаблення твердого фотонного випромінювання. Закон ослаблення для нерозсіяного пучка.....	82
5. Зливи заряджених частинок.....	85
5.1. Критична енергія.....	87
5.2. Апроксимація Грейзена функції Нішимури і Камати. Наближення А.....	88
5.3. Апроксимація Грейзена функції Нішимури і Камати. Наближення Б.....	90
5.4. Енергетичний спектр зливових електронів Тамма- Біленького.....	91
5.5. Енергетичний спектр зливових фотонів.....	94
5.6. Надлишок зливових електронів Аскар'яна.....	95
5.7. Можлива роль ефекту ЛПМ у каскадних зливах.....	96
5.8. Порівняльні характеристики злив, що розвиваються в різних речовинах.....	97
6. Випромінювання Вавилова-Черенкова.....	97
6.1. Якісний опис. Шлях формування випромінювання. Поляризація.....	100
6.2. Основні співвідношення, які здобуто в теорії Франка- Тамма: енергія, яка виділяється на одиниці шляху, кількість фотонів на одиниці шляху, тривалість світлового спалаху, порівняльні характеристики черенковського та гальмівного випромінювань.....	104
6.3. Застосування ефекту та його властивості, які спостерігаються в експерименті: дифракція на короткому пробігу, вплив багаторазового кулонового розсіяння, енергетичний поріг у конденсованих середовищах і газах, селекція заряджених частинок по швидкостях, визначення заряду, покажчики напрямку.....	109
7. Задачі.....	112
Використана література.....	128