

Государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования Московской области
«Университет «Дубна»
(государственный университет «Дубна»)

Филиал «Протвино»
Кафедра технической физики



УТВЕРЖДАЮ

Директор

[Handwritten signature]
подпись

/Евсиков А.А./

Фамилия И.О.

30 » 06 2022 г.

Рабочая программа дисциплины

Детекторы излучений

наименование дисциплины (модуля)

Направление подготовки (специальность)

03.03.02 Физика

код и наименование направления подготовки (специальности)

Уровень высшего образования

бакалавриат

бакалавриат, магистратура, специалитет

Направленность (профиль) программы (специализация)

«Медицинская физика»

Форма обучения

очная

очная, очно-заочная, заочная

Протвино, 2022

Автор(ы) программы:

Хохлов Ю.А., к.ф.-м.н., доц. , кафедра технической физики

(Фамилия И.О., должность, ученая степень, ученое звание, кафедра; подпись)

Ю.А.

Рабочая программа разработана в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки высшего образования 03.03.02 Физика

(код и наименование направления подготовки (специальности))

Программа рассмотрена на заседании кафедры технической физики

(название кафедры)

Протокол заседания №5 от « 27 » июня 2022 г.

Заведующий кафедрой

Соколов А.А. Соколов

(Фамилия И.О., подпись)

Эксперт _____

(Ф.И.О., ученая степень, ученое звание, место работы, должность;
подпись, заверенная по месту работы)

Оглавление

1 Цели и задачи освоения дисциплины.....	4
2 Место дисциплины в структуре ОПОП.....	4
3 Планируемые результаты обучения по дисциплине	5
4 Объем дисциплины	5
5 Содержание дисциплины.....	5
6 Перечень учебно-методического обеспечения по дисциплине	8
7 Фонды оценочных средств по дисциплине	8
8 Ресурсное обеспечение	8
Приложение к рабочей программе дисциплины	

1 Цели и задачи освоения дисциплины (модуля)

Цель дисциплины «Детекторы излучений» -- сформировать у обучающихся профессиональные компетенции ПК-1 в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки бакалавров 03.03.02 Физика с учетом направленности бакалаврской программы – «Медицинская физика».

Учебные задачи дисциплины:

- знание физических основ детектирования излучений;
- знание основных физических процессов взаимодействия излучения с веществом;
- знание основных физических процессов в основных типах детекторов излучений и принципов их устройства.

Областями профессиональной деятельности в рамках изучаемой дисциплины являются:

- атомная промышленность (в сфере обеспечения жизненного цикла (исследование, проектирование и разработка современного уникального оборудования, производство, наладка, эксплуатация) оборудования ускорительных комплексов как медицинского назначения, так и используемых для проведения исследований в области физики высоких энергий, физических установок, в том числе, медицинского назначения для обеспечения эффективного и безопасного развития атомной отрасли);

- сквозные виды профессиональной деятельности в промышленности (в сферах проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по тематике организации, управления результатами научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ с целью производства современного оборудования, обеспечивающего совершенствование ядерно-энергетических технологий).

Объектами профессиональной деятельности в рамках изучаемой дисциплины (модуля) являются физические установки и технологии с применением детекторов излучений.

2 Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП

Дисциплина «Детекторы излучений» относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, является обязательной дисциплиной, модуль «Общий физический практикум», Б1.В.08. Изучается в 7-м семестре, на 4-м курсе.

Дисциплина опирается на знания и навыки, полученные студентами при изучении предметов и дисциплин:

- все разделы общей физики, в т.ч.: «Электродинамика», «Атомная физика», «Теория относительности», «Квантовая физика»;

- основные разделы высшей математики, в т.ч. «Математический анализ», «Уравнения математической физики», «Теория вероятностей и математическая статистика».

Дисциплина изучается параллельно с дисциплинами:

- Ускорители заряженных частиц
- Ядерная медицина

3 Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)

Формируемые компетенции <i>(код и наименование)</i>	Индикаторы достижения компетенций <i>(код и формулировка)</i>	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
ПК-1 Способен использовать базовые знания при построении физических и математических моделей в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований	ПК-1.1. Выявляет перспективные проблемы и формулирует принципы решения актуальных научно-исследовательских задач в области медицинской физики	Понимает физические основы процессов; знает определяющие численные величины; владеет методами решения задач. Подготовлен к чтению оригинальной научной и инженерно-технической литературы по специальности
	ПК-1.3. Владеть методами научного прогнозирования, методами работы на современных физических установках и навыками работы с пакетами прикладных программ физико-технических систем.	Владеет основами анализа измерений; критически интерпретирует результаты

Результат обучения сформулирован с учетом следующих профессиональных стандартов:

- Профессиональный стандарт 40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам», утвержден приказом Министерством труда и социальной защиты Российской Федерации от 04 марта 2014 г. № 121н.

—

4 Объем дисциплины

Объем дисциплины составляет 4 зачетных единицы, всего 144 часов

5 Содержание дисциплины (модуля)

_____ очная _____ форма обучения

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	В том числе:								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них						Всего	Самостоятельная работа обучающегося,	
		Лекционные занятия	Семинарские занятия	Практические занятия	Лабораторные занятия	...				
7 семестр										
1. Введение. Специальные единицы измерения. Фундаментальные постоянные.		2		1					2	1
2. Ионизационные потери.		2		1					2	2
3. Флуктуации ионизационных потерь.		2		1					2	2
4. Многократное рассеяние.		2		1					2	2
5. Тормозное излучение в поле ядра.		2		1					2	2
6. Рождение электрон-позитронных пар. Электромагнитный каскад.		2		1					2	2
7. Черенковское излучение.		2		1					2	2
8. Синхротронное излучение.		2		1					2	2
9. Поглощение гамма-квантов веществом.		2		1	12				2	2
10. Основные процессы в газах		2		1					2	2
11. Ионизационная камера		2		1					2	2
12. Пропорциональные счетчик, камера.		2		1	10				2	2
13. Сцинтилляторы. Фотоприемники.		2		1	12				2	2
14. Полупроводниковый детектор		2		1					2	2
15. Электромагнитные калориметры		2		1					2	2
16. Взаимодействие адронов с веществом.		2		1					2	2
17. Адронный калориметр.		2		1					2	1
Промежуточная аттестация <u>экзамен</u>	27									
Итого	144	34		17	34				85	32

Тема 1. Ионизационные потери.

Ионизационные потери как основной механизм детектирования частиц.

Модель Ферми для кулоновского взаимодействия заряженной частицы с атомными электронами. Спектр электронов отдачи.

Формула Бете-Блоха. Понятие МПР. Границы применимости.

Эффект плотности. Плато Ферми. Ограниченные потери.

Флуктуации потерь. Распределение Ландау.

Тема 2. Многократное рассеяние

Формула Резерфорда. Многократное рассеяние. Радиационная длина

Тема 3. Тормозное излучение в поле ядра. Рождение электрон-позитронных пар гамма-квантом в поле ядра.

Формула Бете-Гайтлера для ТИ. Длина экранировки. Критическая энергия. Радиационная длина – 2. ЛПМ- эффект . Связь рождения пар с ТИ. Ф.-ла Бете-Гайтлера для рождения пар.

Тема 4. Электромагнитный каскад.

Модель каскада в приближении Росси. Продольная форма каскада.

Радиус Мольер.

Тема 5. Черенковское излучение.

ЧИ как часть ионизационных потерь.

Геометрическая и кинематическая интерпретации ЧИ. Пороговый характер ЧИ.

Спектр и угловое распределение ЧИ.

Идентификация частиц посредством регистрации ЧИ.

Тема 6. Поглощение низкоэнергичных гамма-квантов веществом

Комптоновское рассеяние. Фотоэффект.

Тема 7. Синхротронное излучение

СИ в циклическом ускорителе. Сходство и различия с ТИ.

Тема 8. Газовые детекторы

Физические процессы в газе детектора : первичная и полная ионизация ; дрейф и диффузия заряженных частиц ; газовое усиление; пробой; фотоионизация и фотопоглощение.

Ионизационная камера. Форма сигнала. Индукционный эффект.

Цилиндрический пропорциональный счетчик. Многопроволочная пропорциональная камера.

Тема 9. Сцинтилляционные детекторы

Виды сцинтилляторов и механизмы сцинтилляции. Свойства сцинтилляторов : временные, световой выход, стойкость, практическая применимость. Эффект Биркса.

ФЭУ. Процессы в ФЭУ и его характеристики . Фото- и термо- эмиссия из полупроводникового фотокатода; вторичная эмиссия ; оптическая и ионная обратная связь, объемный заряд.

Шумы ФЭУ. Виды ФЭУ. Амплитудное разрешение и временные характеристики.

Тема 10. Полупроводниковые детекторы

Зонная структура полупроводника и физические процессы : собственная и примесная проводимость; ионизация; термализация; дрейф; рекомбинация.

Шумы в п/проводнике. Необходимость обеднения. Емкость перехода. PIN-детектор.

Тема 11. Электромагнитные калориметры

Виды калориметров: однородные и разнородные; сплошные и ячеистые; газовые, жидкостные, сцинтилляционные, полупроводниковые, черенковские.

Факторы разрешения: флуктуации сбора «заряда» и выборки, утечки, шумы.

Тема 12. Взаимодействие адронов с веществом. Адронные калориметры

Общие характеристики адронного взаимодействия : сечение, множественность, средний поперечный импульс, распады продуктов.

Ядерный каскад . Сравнение с ЭМ- калориметрией: дополнительные факторы энергетического (и пространственного) разрешения.

6 Перечень учебно-методического обеспечения по дисциплине

Для обеспечения реализации программы дисциплины разработаны:

- методические материалы (конспекты) к лекционным занятиям.
- методические материалы (список задач) к практическим занятиям.
- методические материалы (описание работ) к лабораторным работам

Методические материалы по дисциплине и образовательной программе в целом представлены на официальном сайте образовательной организации (раздел «Сведения об образовательной организации» – Образование – Образовательные программы).

7 Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине

Для аттестации обучающихся на соответствие их персональных достижений поэтапным требованиям образовательной программы по дисциплине (модулю) разработаны фонды оценочных средств, позволяющие оценить результаты обучения (знания, умения, навыки) и сформированные (формируемые) компетенции.

Эти фонды включают теоретические вопросы, практические задания и домашние задания, используемые при проведении процедур текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.

При необходимости обучающиеся с ограниченными возможностями здоровья и инвалиды обеспечиваются оценочными материалами в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

Для лиц с нарушениями зрения:

- в печатной форме увеличенным шрифтом,
- в форме электронного документа,

Для лиц с нарушениями слуха:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа,

8 Ресурсное обеспечение

- **Перечень литературы**

Основная литература

1. Болоздыня А.И. Детекторы ионизирующих частиц и излучений. Принципы и применения : Учебное пособие / А. И. Болоздыня, И. М. Ободовский. - Долгопрудный : Интеллект, 2012. - 208с. : ил. - ISBN 978-5-91559-105-8.
2. Кузнецов, С. И. Физика. Волновая оптика. Квантовая природа излучения. Элементы атомной и ядерной физики : учебное пособие / С. И. Кузнецов, А. М. Лидер. — 3-е изд., перераб. и доп. — Москва : Вузовский учебник : ИНФРА-М, 2019. — 212 с. - ISBN 978-5-9558-0350-0. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1002478> (дата обращения: 14.04.2022). – Режим доступа: по подписке.
3. Мелешко, Е. А. Быстродействующая импульсная электроника / Е. А. Мелешко. – Москва : Физматлит, 2007. – 316 с. – Режим доступа: по подписке. –

Дополнительная литература

4. Подлесный, С. А. Устройства приема и обработки сигналов : учебное пособие / С. А. Подлесный, Ф. В. Зандер. - Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2011. - 352 с. - ISBN 978-5-7638-2263-2. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/441113> (дата обращения: 17.04.2022). – Режим доступа: по подписке.
5. Кондратенко, С. Г. Физические основы измерений характеристик ионизирующих излучений: конспект лекций / С. Г. Кондратенко. – 3-е изд., перераб.
6. Датчики: Справочное пособие / В. М. Шарапов, Е. С. Полищук, Н. Д. Кошевой [и др.] ; ред. В. Шарапов, Е. Полищук. – Москва : РИЦ Техносфера, 2012. – 624 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=214292> (дата обращения: 17.04.2022). – ISBN 978-5-94836-316-5. – Текст: электронный.

• Периодические издания

1. Журнал экспериментальной и теоретической физики / Учредитель: РАН, Институт физических проблем им. П.Л. Капицы РАН. Гл. ред. академик Андреев А.Ф., ИФП РАН. М.: Академиздатцентр «Наука». - Журнал основан в 1873 году. Полные тексты статей доступны по подписке на сайте научной электронной библиотеки «eLIBRARY.RU»: http://elibrary.ru/title_about.asp?id=8682 и на сайте журнала <http://www.jetp.ac.ru/>
2. Ядерная физика / Учредитель: РАН, Издательство «Наука», Гл. ред.: Ю.Г. Абов. – М.: Академиздатцентр «Наука».- Журнал основан в 1965 году. Полные тексты статей доступны по подписке на сайте научной электронной библиотеки «eLIBRARY.RU»: <http://elibrary.ru/contents.asp?issueid=1549086>
3. Медицинская физика: научно-техническое издание / Учредитель: Ассоциация медицинских физиков России; гл. ред. Наркевич Б.Я, д.т.н., проф., в.н.с. – М.: Ассоциация медицинских физиков России. – журнал выходит 2 раза в полуг. - Основан в 1995 году. – ISSN: 1810-200X. - Текст : непосредственный

• Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

Электронно-библиотечные системы и информационные базы данных

1. ЭБС «Znanium.com»: <https://znanium.com/>
2. ЭБС «Лань»: <https://e.lanbook.com/>
3. ЭБС «Юрайт»: <https://urait.ru/>
4. ЭБС «Университетская библиотека онлайн»: <https://biblioclub.ru/>
5. Научная электронная библиотека (РУНЭБ) «eLIBRARY.RU»: <http://elibrary.ru>

6. Национальная электронная библиотека (НЭБ): <http://нэб.рф/>
 7. Базы данных российских журналов компании «East View»: <https://dlib.eastview.com/>
 8. ArXiv.org - научно-поисковая система, специализируется в областях: компьютерных наук, астрофизики, физики, математики, квантовой биологии. <http://arxiv.org/>
 9. Google Scholar - поисковая система по научной литературе. Включает статьи крупных научных издательств, архивы препринтов, публикации на сайтах университетов, научных обществ и других научных организаций. <https://scholar.google.ru/>
 10. SciGuide - навигатор по зарубежным научным электронным ресурсам открытого доступа. <http://www.prometeus.nsc.ru/sciguide/page0601.ssi>
- Федеральная информационная система «Единое окно доступа к информационным ресурсам»: <http://window.edu.ru/>.

Профессиональные ресурсы сети «Интернет»

1. Федеральная информационная система «Единое окно доступа к информационным ресурсам»: <http://window.edu.ru/>
2. Образовательный математический сайт [EXponenta.ru](http://exponenta.ru/default.asp) <http://exponenta.ru/default.asp>
3. Математический сайт [Math.ru](http://math.ru/lib/) <http://math.ru/lib/>

- **Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса, включая программное обеспечение, информационные справочные системы**

Для проведения лекционных и практических занятий могут использоваться мультимедиа-материалы (презентации, слайды), в связи с чем требуется оборудование учебной аудитории видеопроектором, компьютером или ноутбуком.

Для выполнения заданий самостоятельной подготовки обучающиеся обеспечиваются литературой, а также в определённом порядке могут получать доступ к информационным ресурсам Интернета.

В филиале «Протвино» государственного университета «Дубна» созданы условия для обучения людей с ограниченными возможностями: использование специальных образовательных программ и методов обучения, специальных учебников, учебных пособий и дидактических материалов, специальных технических средств обучения коллективного и индивидуального пользования, предоставление услуг ассистента (помощника), оказывающим обучающимся необходимую техническую помощь, обеспечение доступа в здания организации.

Имеется универсальное средство для подъема и перемещения инвалидных колясок – пандус-платформа складной.

Компьютерные классы оборудованы столами для инвалидов с ДЦП, также здесь оборудованы рабочие места для лиц с ОВЗ: установлены специальный программно-технологический комплекс позволяющий работать на них студентам с нарушением опорно-двигательного аппарата, слабовидящим и слабослышащим. Имеются гарнитуры компактные, беспроводная клавиатура с большими кнопками, беспроводной компьютерный джостик с двумя выносными кнопками, беспроводной ресивер, беспроводная выносная большая кнопка, портативное устройство для чтения печатных материалов.

Специальные учебники, учебные пособия и дидактические материалы, в том числе в формате печатных материалов (крупный шрифт или аудиофайлы) имеются в ЭБС, на которые подписан филиал.

Наличие на сайте справочной информации о расписании учебных занятий в адаптированной форме доступной для обучающихся с ограниченными возможностями здоровья, являющихся слепыми или слабовидящими.

1. Описание материально-технической базы

Компьютерный класс (15 ПК) (оборудование в собственности).

Обучающиеся из числа инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья могут использовать специализированное программное и материально-техническое обеспечение:

- обучающиеся с нарушениями опорно-двигательного аппарата при необходимости могут использовать адаптивные технические средства: специально оборудованные джойстики, увеличенные выносные кнопки, клавиатуры с большими клавишами.
- обучающиеся с ограничениями по зрению могут прослушать доступный аудиоматериал или прочитать тексты, увеличив шрифт на экране монитора компьютера. Рекомендуется использовать экранную лупу и другие визуальные вспомогательные средства, чтобы изменить шрифт текста, межстрочный интервал, синхронизацию с речью и т.д., программы экранного доступа (скринридеры для прочтения текстовой информации через синтезированную речь) и/или включить функцию «экранного диктора» на персональном компьютере с операционной системой Windows 7, 8, 10.
- обучающиеся с ограничениями по слуху могут воспользоваться компьютерной аудиогарнитурой при прослушивании необходимой информации и портативной индукционной системой серии «ИСТОК».

При необходимости обучающиеся с ограниченными возможностями здоровья и инвалиды обеспечиваются печатными и (или) электронными образовательными ресурсами (образовательная программа, учебные пособия и др.) в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

Для лиц с нарушениями зрения:

- в печатной форме увеличенным шрифтом,
- в форме электронного документа,
- в форме аудиофайла.

Для лиц с нарушениями слуха:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа,
- в форме аудиофайла.

Фонды оценочных средств

В результате освоения дисциплины «Детекторы излучений» программы бакалавров по направлению подготовки 03.03.02 «Физика» с учетом направленности бакалаврской программы – «Медицинская физика» выпускник должен обладать следующими компетенциями:

ПК-1 Способен использовать базовые знания при построении физических и математических моделей в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований

ИНДИКАТОР ДОСТИЖЕНИЯ КОМПЕТЕНЦИИ (код и наименование)	КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ОБУЧЕНИЯ по практике ШКАЛА оценивания				
	1	2	3	4	5
ПК-1.1. Выявляет перспективные проблемы и формулирует принципы решения актуальных научно-исследовательских задач в области медицинской физики	Отсутствие знания	Фрагментарные знания основных процессов в детекторах Допускает множественные грубые ошибки.	Неполные знания об основных процессах в детекторах Допускает достаточно серьезные ошибки.	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания основных процессов в детекторах Допускает отдельные негрубые ошибки.	Демонстрирует свободное и уверенное знание основных процессов в детекторах Не допускает ошибок.
ПК-1.3. Владеть методами научного прогнозирования, методами работы на современных физических установках и навыками работы с пакетами прикладных программ физико-технических систем.	Отсутствие владения	Фрагментарное применение навыков разработки технического задания на систему контроля детекторов в составе физической установки Допускает множественные грубые ошибки	В целом успешное, но не систематическое применение навыков разработки технического задания на систему контроля детекторов в составе физической установки Допускает достаточно серьезные ошибки.	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков разработки технического задания на систему контроля детекторов в составе физической установки Допускает отдельные негрубые ошибки.	Успешное и систематическое применение навыков разработки технического задания на систему контроля детекторов в составе физической установки Не допускает ошибок.

При балльно-рейтинговой системе все знания, умения и навыки, приобретаемые студентами в результате изучения дисциплины, оцениваются в баллах.

Оценка качества работы в рейтинговой системе является накопительной и используется для оценивания системной работы студентов в течение всего периода обучения.

По итогам работы в семестре студент может получить максимально **70** баллов. Итоговой формой контроля в VII семестре является экзамен. На экзамене студент может набрать максимально **30** баллов.

В течение семестра студент может заработать баллы за следующие виды работ:

№	Вид работы	Сумма баллов
1	Аудиторные занятия (посещение)	20
2	Работа на практических занятиях	20
3	Сдача задач	30
	Итого:	70

Если к моменту окончания семестра студент набирает от **51** до **70** баллов, то он получает допуск к экзамену.

Если студент к моменту окончания семестра набирает от **61** до **70** баллов, то он может получить автоматическую оценку «удовлетворительно». При желании повысить свою оценку, студент имеет право отказаться от автоматической оценки и сдать экзамен.

Если студент не набрал минимального числа баллов (**51** балл), то он не получает допуск к экзамену.

Соответствие рейтинговых баллов и академических оценок экзамена

Общая сумма баллов за семестр	Итоговая оценка
86-100	Отлично
71-85	Хорошо
51-70	Допуск к экзамену
в том числе: 61-70	Возможность получения автоматической оценки «удовлетворительно»
51-60	Только допуск к экзамену
0-50 *	Неудовлетворительно (студент не допущен к экзамену)

Процедура промежуточной аттестации проходит в соответствии с «Положением балльно-рейтинговой системе оценки и текущем контроле успеваемости студентов», а также «Положением о промежуточной аттестации» университета «Дубна».

Задачи для практических занятий и самостоятельного решения.

1. Найти максимально возможную передачу энергии при столкновении релятивистской частицы (масса M , импульс p) с покоящейся частицей массы m . В предположении $M \gg m$ рассмотреть предельные случаи а) $M \ll p \ll M^2/m$; б) $p \gg M^2/m$.
2. Оценить γ - фактор начала плато Ферми из-за эффекта плотности в Ag при н.у.
3. Найти среднее кол.-во δ - электронов с практическим пробегом >1.5 мм в слое 1 см Ag (при н.у.) при его пересечении $m.i.p.$
4. Найти предельную эффективность газового счетчика (Ag при н.у.) толщиной 1 мм при детектировании $m.i.p.$
5. Найти предельное относительное энергетическое разрешение при детектировании электронов с энергией 5.9 кэВ ионизационной камерой (Ag при н.у.). Фактор Фано = 0.25.
6. Найти пороговое давление для черенковского излучения пионом 28 ГэВ в воздухе (преломление в воздухе при н.у. $n_{\text{атм}} - 1 = 290 \cdot 10^{-6}$).
7. При каком импульсе p частиц определенной массы интенсивность черенк. излучения достигает 90% от (асимптотического) максимума, если их пороговый импульс в данном в.-ве $p_{\text{порог}}$? Считать частицы ультрарелятивистскими.
8. Исследуется реакция $\pi^- p \rightarrow \pi^0 n$ при 40 ГэВ в длинной (50 см) жидководородной мишени. Продольная (вдоль пучка) координата точки взаимодействия измеряется по интенсивности черенковского излучения, регистрируемого в полосе 350 – 450 нм. Считая фотоприемник идеальным (100% эффективным), оценить точность измерения. Считать для LiqH $n = 1.112$. N.B. Статистика черенковских фотонов – пуассоновская.
9. Вычислить значение радиационной длины в свинце.
10. Найти граничную энергию гамма-квантов за счет ЛПМ- эффекта для 25-и-ГэВ-ных электронов в свинце.

11. Оценить (в приближении Росси) количество электронов в максимуме ливня от 10-ГэВ-ного гамма-кванта в железе.
12. Вычислить сечение рождения пар в свинце гамма-квантами при 1 ГэВ
13. Край фотопоглощения К – серии в свинце составляет около 90 кэВ. Вычислить сечение фотоэффекта при энергии 200 кэВ.
14. Найти минимальную энергию гамма-квантов, регистрируемых по черенковскому излучению комптоновских электронов в воде ($n=1.41$).
15. Найти потерю энергии на излучение протоном 3.5 ТэВ за один оборот в кольце ЛНС (длина окружности 28 км).
16. Синхротрон НИЦ КИ Сибирь-2 с длиной орбиты 124 м ускоряет электроны до 2.5 ГэВ. Найти критическую энергию фотонов СИ а) от основного кольца (паразитное СИ) б) формируемого на поворотном магните с полем 1.7Т (выводной канал СИ).
17. Импульс мюона измеряется по повороту его траектории при прохождении однородно намагниченного (поле 1.5 Т перпендикулярно к направлению падения) железного фильтра толщиной 2 м. С какой точностью будет измеряться импульс в такой установке? Считать, что трековые детекторы перед фильтром и после него имеют неограниченно хорошее угловое и координатное разрешение.
18. Найти групповую скорость электромагнитных волн в среде в «плазменном» приближении диэлектрической проницаемости
19. Выполнить модельную оценку параметров радиатора переходного излучения на основе фольг из бериллия в области $\gamma = 10^4$
20. Плоскопараллельный дрейфовый зазор в 1 см под напряжением 1 кВ заполнен CO_2 при н.у. Считая, что газ является «холодным» («тепловой предел», для CO_2 выполняется в широком диапазоне параметров), оценить снизу среднеквадратичный диффузионный разброс электронов, образованных вблизи катода.
21. Оценить световыход типичного пластического сцинтиллятора при регистрации α – частицы с энергией 6 МэВ. Энергетическая эффективность сцинтиллятора к m.i.p. – 3%. Постоянная Биркса – $0.01 \text{ г} / (\text{МэВ} \cdot \text{см}^2)$.
22. Найти напряжение смещения в кремниевом p+ n детекторе с концентрацией донорных атомов $3 \cdot 10^{11} / \text{см}^3$ для обеднения зоны 300 мкм при $T=300 \text{ К}$
23. Найти максимально достижимую толщину обедненной зоны в кремниевом p+ n детекторе с удельным сопротивлением $\rho_p = 10^4 \text{ Ом} \cdot \text{см}$. Пробивное значение поля 20 кВ/см.
24. Найти критическое натяжение анодной проволоки для МПК с параметрами: длина $L=1 \text{ м}$, зазор анод-катод $l=4 \text{ мм}$, шаг проволок $s=2 \text{ мм}$, их диаметр $2a = 20 \text{ мкм}$. Рабочее напряжение камеры $V=3 \text{ кВ}$.

Список вопросов к экзамену

1. Модель Ферми для ионизационных потерь энергии заряженной частицей.
2. Формула Бете-Блоха. Понятие $m.i.p.$ Релятивистский рост потерь. Ограниченные потери. Эффект плотности. Плато Ферми.
3. Спектр δ - электронов. Флуктуации ионизационных потерь. Распределение Ландау.
4. Первичная и вторичная ионизация. Фактор Фано.
5. Многократное рассеяние. Среднеквадратичный угол и распределение. Радиационная длина.
6. Тормозное излучение и рождение электрон-позитронных пар γ -квантом в поле ядра. Параметр экранировки. Характеристики. Формулы Бете-Гайтлера, графическое представление.
7. Электромагнитный каскад. Модель (приближение) Росси. Критическая энергия. Радиус Мольера.
8. Поглощение низкоэнергичных γ -квантов веществом. Комптоновское рассеяние. Фотоэффект.
9. Черенковское излучение. Кинематическая интерпретация ЧИ. ЧИ как часть ионизационных потерь. Спектр ЧИ.
10. Синхротронное излучение. Спектр СИ, критическая энергия.
11. Физические процессы в газе применительно к детектированию частиц.
12. Ионизационная камера. Индукционный эффект.
13. Цилиндрический пропорциональный счетчик.
14. Трековые детекторы : МПК, ДК, ДТ.
15. Виды сцинтилляторов и механизмы сцинтилляции.
16. Свойства сцинтилляторов. Эффект Биркса.
17. Процессы в ФЭУ и его характеристики.
18. Зонная структура полупроводника и физические процессы.
19. П/п – детектор, его характеристики.
20. Черенковский счетчик.
21. Электромагнитный калориметр.
22. Пуассоновский процесс. Мертвое время детектирования.