

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

Филиал «Протвино»  
Кафедра «Техническая физика»



## Рабочая программа дисциплины (модуля)

Системы ускорителей медицинского назначения  
*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, 2019

Преподаватель (преподаватели):

Соколов А.А., профессор, д.ф.-м.н., снс, кафедра технической физики

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

---

Рабочая программа разработана в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки (специальности) высшего образования

03.03.02 Физика

*(код и наименование направления подготовки (специальности))*

Программа рассмотрена на заседании кафедры технической физики

*(название кафедры)*

Протокол заседания № 3 от 28 июня 2019 г.

И.о. зав. кафедрой «Техническая физика» \_\_\_\_\_ Соколов А.А.

*(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 (модуля) .....	4
2 Объекты профессиональной деятельности при изучении дисциплины (модуля) .....	4
3 Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП .....	4
4 Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников).....	5
5 Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся .....	6
6 Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических или астрономических часов и виды учебных занятий .....	6
7 Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю) и методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модулю) .....	8
8 Применяемые образовательные технологии для различных видов учебных занятий и для контроля освоения обучающимися запланированных результатов обучения.....	9
9 Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю).....	10
10 Ресурсное обеспечение .....	18
11 Язык преподавания .....	20

## **1 Цели и задачи освоения дисциплины (модуля)**

Целью освоения дисциплины «Системы ускорителей медицинского назначения» является: ознакомление будущего бакалавра с основами теории физики пучков заряженных частиц и ускорительной техники, их практического применения; а также развитие у студентов рационального понимания окружающего мира, навыков логического мышления, формирование способности к самостоятельному анализу и техническому творчеству. Все это является необходимой подготовкой студентов к профессиональной деятельности.

---

Задачи дисциплины:

- развить представление о том, какие пучки, каких частиц, с какими параметрами необходимы и используются как в фундаментальных исследованиях (физика высоких энергий), так и в прикладных задачах (в медицине – радиационная терапия, электронно-лучевая сварка, имплантация ионов, дефектоскопия, неразрушающий анализ, производство радионуклидов, стерилизация и т.д.);
- изучение существующих и разрабатываемых методов ускорения и фокусировки частиц, способов реализации этих методов и трудностей создания пучков с наперед заданными параметрами;
- показать всю научную широту, требующуюся при создании ускорителей: от теоретической механики, электродинамики, квантовой механики и ядерной физики до “технологических” наук, связанных с материаловедением, созданием сверхпрочных поверхностей и т.д.;
- акцентировать внимание на знании и понимании физических законов, лежащих в основе функционирования различных типов ускорителей;
- познакомить с качественным и количественным анализом нелинейных колебаний;
- научить различным методам анализа устойчивости в нелинейной динамической системе, которую представляет собой частица, движущаяся в ускорителе.

## **2 Объекты профессиональной деятельности при изучении дисциплины (модуля)**

Объектами профессиональной деятельности в рамках изучаемой дисциплины (модуля) являются:

- физические системы различного масштаба и уровней организации, процессы их функционирования;
- физические, инженерно-физические, биофизические, химико-физические, медико-физические, природоохранительные технологии.

## **3 Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП**

Дисциплина Б1.В.ОД.7 «Системы ускорителей медицинского назначения» входит в состав обязательных дисциплин вариативной части блока дисциплин учебного плана. Изучается в VII семестре IV курса.

---

Курс призван обеспечить общеобразовательную теоретическую подготовку студентов к практической работе в области физики пучков и ускорительной техники. Приступая к изучению дисциплины, студент должен иметь представление об основах теоретической механики, электродинамики, квантовой механики и ядерной физики. Входящие компетенции: ПК-1.

После обучения по программе «Системы ускорителей медицинского назначения» студент должен быть подготовлен к практической и исследовательской работе в научных и медицинских центрах, использующих пучки заряженных частиц.

Освоение материала дисциплины позволит студенту быть подготовленным к подготовке и защите выпускной квалификационной работы и последующей профессиональной деятельности.

#### **4 Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)**

*Раздел заполняется в соответствии с картами компетенций.*

<b>Формируемые компетенции (код компетенции, уровень (этап) освоения) (последний – при наличии в карте компетенции)</b>	<b>Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций</b>
<p><i>ПК-1 – способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин</i></p>	<p><b>Знать</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- воспроизводить и объяснять учебный материал с требуемой степенью научной точности и полноты;</li> <li>- основной математический аппарат, который используется для освоения профильных физических дисциплин;</li> <li>- свойства и структуру физических процессов, происходящих в различных средах;</li> <li>- основные закономерности формирования законов в области теоретической и экспериментальной физики</li> </ul> <p><b>Уметь</b> *)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- выстраивать взаимосвязи между физическими науками;</li> <li>- решать типичные задачи на основе воспроизведения стандартных алгоритмов решения;</li> <li>- объяснять причинно-следственные связи физических процессов;</li> <li>- формулировать выводы и приводить примеры;</li> <li>- разбираться в используемых методах;</li> <li>- подбирать математический аппарат для решения конкретной физической задачи;</li> <li>- формулировать задачи для теоретических расчетов процессов в медицинских приборах;</li> <li>- находить необходимые справочные материалы из информационных источников, в том числе, из электронных каталогов;</li> <li>- производить оценочные расчеты эффективности того или иного физического явления;</li> <li>- излагать и критически анализировать базовую общепрофессиональную информацию;</li> <li>- решать прикладные задачи на основе фундаментальных знаний</li> </ul> <p><b>Владеть</b> *)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками самостоятельной работы со специализированной литературой;</li> <li>- навыками решения усложненных задач по основным направлениям теоретической и прикладной физики, физики оптических, атомных и ядерных явлений на основе приобретенных знаний, умений, навыков, полученных при изучении таких модулей, как Общая физика, Высшая математика и Информатика;</li> <li>- приемами обработки информации с помо-</li> </ul>

	<p>щью современного программного обеспечения (ПО);</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками применения современного математического инструментария для решения физических задач;</li> <li>- математического аппарата, статистическими методами обработки данных;</li> <li>- методикой построения, анализа и применения математических моделей для оценки состояния и прогноза развития физических процессов и явлений;</li> <li>- навыками проведения научно-исследовательского эксперимента, в том числе для исследования физических процессов, протекающих в живых организмах;</li> <li>- методами моделирования различных физических ситуаций;</li> <li>- навыками публичной речи, ведения дискуссии и полемики</li> </ul>
--	--

\*) результат обучения сформулирован на основании требований профессиональных стандартов:

- «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам» № 32 (приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 4 марта 2014 г. № 121н);
- «Специалист в области рентгенологии», проект профессионального стандарта.

## **5 Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся**

Объем дисциплины (модуля) составляет 4 зачетных единицы, всего 144 часов, из которых:

**68 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем:**

34 часов – лекционные занятия;

34 часа – практические занятия.

**Вид мероприятий промежуточной аттестации – курсовая работа, зачет с оценкой.**

**76 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.**

## **6 Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических или астрономических часов и виды учебных занятий**

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля)	Всего (часы)	В том числе:							Самостоятельная работа обучающегося, часы, из них		
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них					Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п.	Всего	
Лекционные занятия	Семинарские занятия	Практические занятия	Лабораторные занятия	Групповые консультации	Индивидуальные консультации						
<b>VII семестр</b>											
Типы систем ускорителей медицинского назначения	4	4						8			
Системы ускорения частиц: высоковольтные, индукционные, резонансные	4	4						8	2		
Поперечная устойчивость частиц в пучке, фазовый эллипс пучка, расчет магнитной структуры ускорителя	5	5						10			
Дисперсия и хроматические эффекты	4	4						8			
Искажение орбиты, методы и системы ее коррекции	5	5						10	2		
Описание магнитного поля через мультиполи и их индивидуальное действие на поперечные параметры пучка	4	4						8			
Действие пространственного заряда пучка на устойчивость поперечного движения частиц	4	4						8	2		
Вакуумная система ускорителя медицинского назначения	4	4						8			
Промежуточная аттестация <u>зачет с оценкой, курсовая работа</u>											
<b>Итого</b>	34	34						68	6	70	76

## **7 Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю) и методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модулю)**

### **Методические указания к практическим занятиям**

Тематика практических задач и задач, предлагаемых для самостоятельного решения:

#### Задача 1

Некоторые космические пучки протонов входят в верхние слои атмосферы с энергией протонов 1 дж или больше. Рассчитайте разницу между скоростью света и скоростью протона с энергией 1 дж. Напомню:  $eV = 1.602 \times 10^{-19}$  дж.

(Решить без использования компьютера.)

#### Задача 2

Часто используется связь между относительным изменением частицы по энергии  $\Delta E/E$  и соответствующим относительным изменением по импульсу  $\Delta p/p$ . Покажите, что

$$\frac{\Delta E}{E} = \left(\frac{v}{c}\right)^2 \frac{\Delta p}{p},$$

где  $v$  – скорость частицы,  $c$  – скорость света.

#### Задача 3

Магнитное поле Земли около  $B \sim 1$  гаусса. При какой скорости протона сила от магнитного поля  $B$  равна гравитационной силе. Рассчитайте соответствующую кинетическую энергию протона.

#### Задача 4

Предположим, что частица движется вдоль проектной орбиты (*reference orbit*) и испытывает угловое отклонение  $\theta$  (например, из-за рассеяния на ядре атома молекулы остаточного газа) в точке  $s = 0$ . Покажите, что после этого движение по  $\zeta$  задается выражением

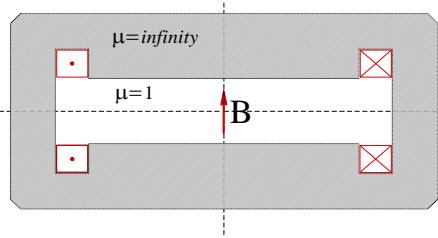
$$\zeta(s \geq 0) = \theta \sqrt{\beta(s)\beta_0} \sin \psi(s),$$

где  $\beta_0 = \beta(0)$  – амплитудная функция в точке отклонения и фаза  $\psi(s)$  измеряется от точки отклонения, т.е.  $\psi(0) = 0$ .

#### Задача 5

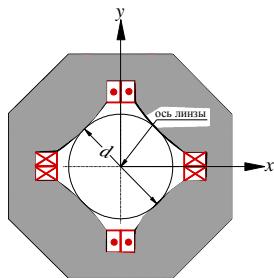
Найти магнитное поле  $B$  на оси симметрии простого дипольного магнита при условии

- пренебрегаем продольными краями полями магнита;
- относительная магнитная проницаемость:  $\mu_{\text{полюс}} = \infty$  в полюсах,  $\mu = 1$  в камере (см. рисунок);
- в верхней и нижней катушках заданы  $IN$  ампер-витков;
- $h = 4.8 \text{ см}$  – межполюсное расстояние.



### Задача 6

Поперечное сечение квадрупольного магнита показано на следующем рисунке.



На каждом полюсе размещается катушка, состоящая из  $N$  витков и током  $I$ . Полагаем что магнитное поле не имеет  $s$ -компоненты, т.е. магнит бесконечно длинный. Если расстояние между полюсами  $d = 2R$  и если в железе предполагается  $\mu = \infty$ , покажите что “градиент”  $B'$  магнитного поля вдоль горизонтальной  $x$  оси и вертикальной  $y$  оси даются выражением:

$$B' = \frac{2\mu_0 NI}{R^2},$$

где  $\mu_0$  – магнитная постоянная.

### **Методическое обеспечение инновационных форм учебных занятий**

Решение практических задач.

### **Методические указания для самостоятельной работы обучающихся и прочее**

<b>№ п/п</b>	<b>№ раздела дис- циплины</b>	<b>Содержание самостоятельной работы</b>	<b>Трудоемкость</b>
1	2-7	Выполнение текущих домашних заданий	6
2	2-7	KP1. Курсовая работа по теме разделов 2-7	70

## **8 Применяемые образовательные технологии для различных видов учебных занятий и для контроля освоения обучающимися запланированных результатов обучения**

*Перечень обязательных видов учебной работы студента:*

- посещение лекционных занятий;
- ответы на теоретические вопросы на практических занятиях;
- решение практических задач и заданий на практических занятиях;
- выполнение устных сообщений

## Иновационные формы проведения учебных занятий

Семестр	Вид учебных занятий	Используемые инновационные формы проведения учебных занятий	Количество академ. часов
VII семестр	Практические занятия	Решение практических задач	7
Всего:			7

### 9 Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

- Перечень компетенций выпускников образовательной программы с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений), характеризующих этапы их формирования, описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования.

ПК-1 - способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин.

Полная карта компетенции ПК-1 приведена в документе «Матрица формирования компетенций» по направлению бакалавриата 03.03.02 «Физика»

- Описание шкал оценивания.

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 зачет с оценкой. Во время сдачи зачета студент может набрать максимально **30** баллов.

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

№	Вид работы	Сумма баллов
1	Работа на практических занятиях	28
2	Сдача курсовой работы (КР1)	25
3	Аудиторные занятия (посещение)	17
Итого:		70

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

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 зачет.

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

#### Соответствие рейтинговых баллов и академических оценок

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

Текущий контроль успеваемости осуществляется в процессе выполнения практических и самостоятельных работ в соответствии с ниже приведенным графиком.

График выполнения самостоятельных работ студентами в VII семестре

Виды работ	Недели учебного процесса															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
KP1		B3													33	

B3 – выдача задания

33 – защита задания

- Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю), характеризующих этапы формирования компетенций

Компетенция ПК-1 - способность обосновывать принимаемые проектные решения, осуществлять постановку и выполнять эксперименты по проверке их корректности и эффективности

*код и формулировка компетенции*

РЕЗУЛЬТАТ ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)	Уровень освоения компетенции	КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю) ШКАЛА оценивания <i>(критерии берутся из соответствующих карт компетенций, шкала оценивания (4 или более шагов) устанавливается в зависимости от того, какая система оценивания (традиционная или балльно-рейтинговая) применяется)</i>					ПРОЦЕДУРЫ ОЦЕНИВАНИЯ
		1	2	3	4	5	
31 (ПК-1) <b>Знать:</b> воспроизводить и объяснять учебный материал с требуемой степенью научной точности и полноты; основной математический аппарат, который используется для освоения профильных физических дисциплин	I - пороговый	Отсутствие знаний	Не знает понятий, идей и методов фундаментальной и экспериментальной физики; методологию построения математических алгоритмов и моделей; не понимает смысла основных законов физики и математики; не раскрывает учебный материал	Слабо знает учебный материал и математический аппарат, используемый при решении профильных задач; плохо знает специализированную литературу и эффективные методы решения профильных задач	Достаточно полно знает понятия, идеи и методы, связанные с дисциплинами профиля «Медицинская физика»; знает, как систематизировать методы фундаментальной математики для построения математических моделей в элементарных прикладных задачах	В совершенстве знает понятия, идеи и методы, связанными с дисциплинами профиля «Медицинская физика»; свободно ориентируется в эффективных методах решения задач; знает классические методы, применяемые для решения этих задач, а также необходимые и достаточные условия их реализации	Устное собеседование
32 (ПК-1) <b>Знать:</b> свойства и структуру физических		Отсутствие знаний	Не имеет представления о физических процессах, происходя-	Знает основные методы решения типовых задач и умеет их	Знает методы корректного использования математического моделирова-	Самостоятельно выбирает и оценивает физический (математический)	Устное собеседование

процессов, происходящих в различных средах; основные закономерности формирования законов в области теоретической и экспериментальной физики			щих в различных средах; не знает основные закономерности формирования законов и методов теоретической и экспериментальной физики	применять на практике; путает характеристики физических процессов, протекающих в различных средах; делает ошибки в основной терминологии и законах фундаментальной и экспериментальной физики	ния при решении теоретических и прикладных задач; четко формулирует основные законы теоретической и экспериментальной физики; хорошо знает профессиональную терминологию; понимает связи между различными физическими понятиями	метод анализа физического процесса; четко формулирует основные закономерности теоретической и экспериментальной физики	
<b>У1 (ПК-1)</b> <b>Уметь:</b> выстраивать взаимосвязи между физическими науками; решать типичные задачи на основе воспроизведения стандартных алгоритмов решения; объяснять причинно-следственные связи физических процессов; формулировать выводы и приводить примеры; разбираться в используемых методах; подбирать математический аппарат для решения		Отсутствие умений	Не умеет использовать физическую терминологию; не видит связи между физическими науками; не умеет анализировать, делать выводы и приводить примеры; не разбирается в используемых методах, не в состоянии найти нужную информацию и сформулировать цели и задачи исследований; не способен оценить эффективность требуемого метода	Делает ошибки в используемой терминологии; не всегда видит связь между физическими науками; умеет решать только типичные задачи; поверхностно анализирует; способен интерпретировать только типичные явления; слабо разбирается в используемых методах	Умеет выстраивать взаимосвязи между физическими науками; хорошо умеет решать типичные задачи; объяснять причинно-следственные связи физических процессов; анализировать, делать выводы и приводить примеры; хорошо разбирается в используемых методах; умеет самостоятельно находить необходимую информацию; умеет формулировать цели и задачи исследований	Самостоятельно умеет выстраивать взаимосвязи между физическими науками; умеет уверенно объяснять причинно-следственные связи физических процессов; умеет самостоятельно анализировать, делать выводы и приводить нетривиальные примеры; отлично разбирается в используемых методах; умеет самостоятельно находить необходимую информацию; формулировать цели и задачи исследований и производить оценочные расчеты эффективности того или иного физиче-	Выполнение практического задания

конкретной физической задачи; формулировать задачи для теоретических расчетов процессов в медицинских приборах; находить необходимые справочные материалы из информационных источников, в том числе, из электронных каталогов; производить оценочные расчеты эффективности того или иного физического явления					ского явления	
<p><b>У2 (ПК-1)</b></p> <p><b>Уметь:</b></p> <p>излагать и критически анализировать базовую общепрофессиональную информацию;</p> <p>решать прикладные задачи на основе фундаментальных знаний</p>		<p>Отсутствие умений</p>	<p>Не умеет применять теоретические знания к конкретному фактическому материалу; не использует профессиональную терминологию при изложении материала; не умеет решать прикладные задачи; не в состоянии анализировать информацию, полученную</p>	<p>Умеет применять только типичные, наиболее часто встречающиеся приемы по решению конкретной физической задаче; плохо оперирует профессиональной информацией; поверхностно излагает информацию; недостаточно использует</p>	<p>Умеет корректно применять профессиональный понятийный аппарат при изложении общепрофессиональной информации; выражать и аргументировано обосновывать положения предметной области знания; вести корректную дискуссию в процессе изложения материала; использовать</p>	<p>Умеет уверенно применять различные методы решения задач в незнакомых ситуациях; умеет квалифицированно применять математический аппарат для поиска решения прикладных задач; умеет корректно выражать и аргументировано обосновывать положения предметной области знания; умеет</p> <p><i>Выполнение практического задания</i></p>

			ную в результате исследования; не умеет адекватно применять известные естественнонаучные и математические знания в учебной и профессиональной деятельности	математический аппарат при решении задач; путается в основных понятиях фундаментальной и экспериментальной физики; делает ошибки при решении физических задач	методы математического моделирования при решении теоретических и прикладных задач; применять компьютерные математические программы при решении задач	аргументировано доказывать оптимальность выбранного алгоритма или метода решения и объяснять его задачи и функции; умеет устанавливать связи между физическими идеями, теориями, дисциплинами и т.д.	
<i>B1 (ПК-1)</i> <b>Владеть:</b> навыками самостоятельной работы со специализированной литературой; навыками решения усложненных задач по основным направлениям теоретической и прикладной физики, физики оптических, атомных и ядерных явлений на основе приобретенных знаний, умений, навыков, полученных при изучении таких модулей, как Общая физика, Выс-	I - пороговый	Отсутствие владения	Не владеет понятийным аппаратом физики; навыками самостоятельной работы со специализированной литературой; навыками решения усложненных задач по основным направлениям теоретической и прикладной физики, физики оптических, атомных и ядерных явлений на основе приобретенных знаний, умений, навыков, полученных при изучении таких модулей, как Общая физика, Высшая математика и Информатика; приемами	Недостаточно владеет методами математического аппарата, статистическими методами обработки данных; приемами обработки информации с помощью современного ПО; не владеет техникой решения усложненных задач; плохо владеет методами анализа математических моделей для оценки состояния и прогноза развития физических процессов и явлений; плохо ориентируется в специализированной литературе; не достаточно владеет навыками биб-	Хорошо владеет навыками применения современного математического инструментария для решения как тривиальных, так и усложненных физических задач; методикой построения, анализа и применения математических моделей для оценки состояния и прогноза развития физических процессов и явлений, используя современной ПО, ориентируется в специализированной литературе	Свободно владеет математическим аппаратом и статистическими методами обработки данных с применением современного ПО; уверено владеет техникой решения усложненных задач; легко ориентируется в специализированной литературе	<i>Выполнение практического задания</i>

			обработки информации с помощью современного программного обеспечения (ПО); навыками применения современного математического инструментария для решения физических задач; методами математического аппарата, статистическими методами обработки данных; методикой построения, анализа и применения математических моделей для оценки состояния и прогноза развития физических процессов и явлений	биографического поиска			
<b>B2 (ПК-1)</b> <b>Владеть:</b> навыками проведения научно-исследовательского экспери-	Отсутствие учебным материалом и специализированными знаниями в области физики; не владеет		Не всегда в состоянии проводить экспериментальные исследования под руководством опытного преподавателя;	В состоянии проводить экспериментальные исследования под руководством опытного преподавателя;	Свободно ориентируется в способах воздействия на аудиторию; уверенно владеет навыком прогнозирования	<i>Выполнение практического задания</i>	

<p>мента, в том числе для исследования физических процессов, протекающих в живых организмах; методами моделирования различных физических ситуаций; навыками публичной речи, ведения дискуссии и полемики</p>		<p>навыками проведения научно-исследовательского эксперимента; не обладает способностью вести корректную дискуссию в процессе представления результатов собственной теоретической работы или эксперимента</p>	<p>и объяснить его задачи и функции; не использует профессиональную терминологию при презентации построенных моделей; слабо владеет правилами и приемами ведения дискуссии в процессе представления математической модели и результатов эксперимента</p>	<p>хорошо владеет навыками синтеза различных методов математического аппарата и программирования для их эффективного использования в профессиональной деятельности; в состоянии продемонстрировать, объяснить и защитить построенную математическую или физическую модель</p>	<p>результатов применения различных математических и программных методов при решении физических задач; самостоятельно проводит научно-исследовательский эксперимент</p>	
--	--	---	--	---	---	--

- Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций и (или) для итогового контроля сформированности компетенции.

#### **Список вопросов к зачету с оценкой**

1. Примеры применения ускорителей в науке и технике.
2. Высоковольтные ускорители прямого действия.
3. Линейные индукционные ускорители.
4. Циклические ускорители с постоянной орбитой.
5. Циклические ускорители с переменной орбитой.
6. В чем принцип резонансного ускорения.
7. Синхротроны с совмещенными и разделенными функциями магнитной структуры.
8. Проектная орбита (reference orbit) и подвижная система координат на этой орбите.
9. Коэффициент расширения орбиты.
10. Автофазировка в синхротроне, синхронная энергия и синхронная фаза.
11. Уравнения синхротронных колебаний.
12. Частота синхротронных колебаний.
13. Сепаратриса в продольном фазовом пространстве, продольный эмиттанс пучка и аксептанс.
14. Теорема Лиувилля в фазовом пространстве синхротронных колебаний.
15. Адиабатическое изменение параметров синхротронных колебаний.
16. Уравнения поперечного движения в синхротроне.
17. Уравнение Хилла, период магнитной структуры.
18. Слабая и сильная фокусировка.
19. Основные типы электромагнитов в синхротроне
20. Матричный метод решения уравнения Хилла.
21. Критерий устойчивости поперечного движения.
22. Описание бетатронных колебаний посредством непрерывных бета и фазовых функций.
23. Параметры Куранта-Снайдера, матрица Твисса.
24. Частота бетатронных колебаний, фазовый эллипс.

25. Согласованные и не согласованные пучки.
  26. Эмиттанс пучка и аксептанс вакуумной камеры.
  27. Инвариантный (нормализованный) эмиттанс пучка.
  28. Естественная хроматичность ускорителя.
  29. Хроматический разброс бетатронных частот в пучке.
  30. Принцип коррекции хроматичности.
  31. Коррекция искажений орбиты.
  32. Создание бампов орбиты.
  33. Скалярный потенциал плоского магнитного поля.
  34. Нормальные и косые мультиполи.
  35. Суммовые и разностные бетатронные резонансы.
  36. Сдвиг бетатронных частот.
  37. Ширина резонанса. Биения размеров пучка. Параметрический резонанс.
  38. Косой квадруполь и линейный резонанс связи.
  39. Использование секступольного резонанса для медленного вывода пучка из синхротрона.
  40. Зависимость сдвигов частот от амплитуд колебаний.
  41. Разброс частот в пучке и системы его коррекции.
  42. Некогерентный кулоновский сдвиг бетатронных частот.
  43. Нелинейный кулоновский разброс бетатронных частот.
  44. Диффузионные процессы: кулоновское и ядерное рассеяние на остаточном газе.
- Требование к вакууму в протонных синхротронах.

- Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций.

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».

#### **Темы курсовых работ (КР1)**

1. Типы линейных ускорителей: прямого действия и резонансные. Циклические ускорители с постоянной орбитой и с переменной орбитой.
2. Резонансный принцип ускорения.
3. Проектная орбита и коэффициент её расширения.
4. Принцип автофазировки и синхротронные колебания.
5. Уравнения поперечного движения в синхротроне. Матричный метод решения уравнения Хилла. Описание бетатронных колебаний с помощью бета и фазовых функций.
6. Параметры Куранта-Снайдера и их вычисление. Матрица Твисса, частота бетатронных колебаний и фазовый эллипс.
7. Дисперсионная функция в замкнутой магнитной структуре и её расчет. Естественная хроматичность ускорителя и принцип её коррекции.
8. Нормальные и косые мультиполи в диполях и квадруполях ускорителя, их представление и измерение.
9. Краевая фокусировка в диполях.
10. Нелинейные уравнения бетатронного движения в канонических переменных. Суммовые и разностные бетатронные резонансы.
11. Ширина резонанса. Биения поперечных размеров пучка.
12. Использование секступольного резонанса для медленного вывода пучка из синхротрона.
13. Зависимость сдвигов частот от амплитуд колебаний. Разброс частот в пучке и системы его коррекции.

14. Диффузионные процессы: кулоновское и ядерное рассеяние на остаточном газе. Требование к вакууму в синхротронах.

- Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.

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».

## **10 Ресурсное обеспечение**

- **Перечень основной и дополнительной учебной литературы**

### *Основная учебная литература*

1. Кузнецов, С. И. Ускорители заряженных частиц. Курс физики с примерами решения задач [Электронный ресурс]: учебное пособие / С. И. Кузнецов; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. - 45 с. - // ЭБС "Znanium.com". - URL: <http://znanium.com/bookread2.php?book=417628> (дата обращения: 17.05.2017). Режим доступа: ограниченный по логину и паролю
2. Иванов, А.В. Динамика заряженных частиц и интенсивных пучков в стационарных полях [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.В. Иванов - Новосиб.: НГТУ, 2011. - 211 с.: ISBN 978-5-7782-1635-8 // ЭБС "Znanium.com". - URL: <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=546733> (дата обращения: 17.05.2017). Режим доступа: ограниченный по логину и паролю
3. Савельев, И.В. Курс общей физики: В 4 т. Т. 3. Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарные частицы: учебное пособие / И.В. Савельев; под общ. ред. В.И. Савельева. – М.: КНОРУС, 2009. – 368 с.: ил.
4. А.А. Коломенский. Физические основы методов ускорения заряженных частиц. Издательство Московского университета, 1980.
5. А.Н. Лебедев, А.В. Шальнов. Основы физики и техники ускорителей. М., Энергоатомиздат, 1991.

### *Дополнительная учебная литература*

1. Канн К. Б. Курс общей физики: Учебное пособие [Электронный ресурс] / К.Б. Канн. - М.: КУРС: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 360 с.: 60x90 1/16. (переплет) ISBN 978-5-905554-47-6 // ЭБС "Znanium.com". - URL: <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=443435> (дата обращения: 09.05.2017). Режим доступа: ограниченный по логину и паролю
2. Кузнецов С. И. Физика. Волновая оптика. Квантовая природа излучения. Элементы атомной и ядерной физики [Электронный ресурс]: Учеб. пос. / С.И.Кузнецов, А.М.Лидер - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Вузов. учеб.: НИЦ ИНФРА-М, 2015 - 212 с. ISBN 978-5-9558-0350-0 // ЭБС "Znanium.com". - URL: <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=438135> (дата обращения: 09.05.2017). Режим доступа: ограниченный по логину и паролю

- **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](http://elibrary.ru/title_about.asp?id=8682) и на сайте журнала <http://www.jntp.ac.ru/>
2. Медицинская физика / Учредитель: Ассоциация медицинских физиков России; гл. ред. д. ф.-м. н., проф. В.А. Костылев. – М.: Ассоциация медицинских физиков России. – Журнал основан в 1995 году. Полные тексты статей доступны по подписке на сайте научной электронной библиотеки «eLIBRARY.RU»: <https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=10064>
3. 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>

- **Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»**

*Электронно-библиотечные системы и базы данных*

1. ЭБС «Znanium.com»: <http://znanium.com/>
2. ЭБС «Лань»: <https://e.lanbook.com/>
3. ЭБС «Юрайт»: <https://biblio-online.ru/>
4. ЭБС «Университетская библиотека онлайн»: <http://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/>

*Научные поисковые системы*

1. 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/>
2. SciGuide - навигатор по зарубежным научным электронным ресурсам открытого доступа. <http://www.prometeus.nsc.ru/sciguide/page0601.ssi>
3. WorldWideScience.org - глобальная научная поисковая система, которая осуществляет поиск информации по национальным и международным научным базам данных и порталам. <http://worldwidescience.org/>
4. ArXiv.org - научно-поисковая система, специализируется в областях: компьютерных наук, астрофизики, физики, математики, квантовой биологии. <http://arxiv.org/>

*Профессиональные ресурсы сети «Интернет»*

1. Федеральная информационная система «Единое окно доступа к информационным ресурсам»: <http://window.edu.ru/>

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

Проведение лекционных занятий предполагает использование комплектов слайдов и программных презентаций по рассматриваемым темам.

Проведение практических занятий по дисциплине предполагается использование специализированных аудиторий, оснащенных персональными компьютерами, объединенными в локальную сеть и имеющих доступ к ресурсам глобальной сети Интернет.

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

Дисциплина обеспечена необходимым программным обеспечением, которое находится в свободном доступе (программы Open office, свободная лицензия, код доступа не требуется).

- **Описание материально-технической базы**

Компьютерный класс

**11 Язык преподавания**

Русский