

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

Филиал «Протвино»
Кафедра «Техническая физика»



УТВЕРЖДАЮ

Директор

[Handwritten signature]

подпись

/Евсиков А.А./

Фамилия И.О.

«06»

2020 г.

Рабочая программа дисциплины (модуля)

Ускорители заряженных частиц

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, 2020

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 « 26 » июня 2020 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

Оглавление.....	3
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.....	10
9 Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю).....	10
10 Ресурсное обеспечение	19
11 Язык преподавания	21

1 Цели и задачи освоения дисциплины (модуля)

Целью освоения дисциплины «Ускорители заряженных частиц» 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, природоохранные технологии.

3 Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.07 «Ускорители заряженных частиц» входит в состав обязательных дисциплин вариативной части блока дисциплин учебного плана. Изучается в VIII 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.

После обучения по программе «Ускорители заряженных частиц» 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.

<p>Формируемые компетенции (код компетенции, уровень (этап) освоения) (последний – при наличии в карте компетенции)</p>	<p>Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций</p>
<p><i>ПК-1 – способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин</i></p>	<p><i>Знать</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - воспроизводить и объяснять учебный материал с требуемой степенью научной точности и полноты; - основной математический аппарат, который используется для освоения профильных физических дисциплин; - свойства и структуру физических процессов, происходящих в различных средах; - основные закономерности формирования законов в области теоретической и экспериментальной физики <p><i>Уметь</i> *)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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 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; - излагать и критически анализировать базовую общепрофессиональную информацию; - решать прикладные задачи на основе фундаментальных знаний <p><i>Владеть</i> *)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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,

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

*) 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 3 зачетных единицы, всего 108 часов, из которых:

40 час составляет контактная работа обучающегося с преподавателем:

20 часов – лекционные занятия;

20 часа – практические занятия.

Вид мероприятий промежуточной аттестации – экзамен (36 часов).

32 часа 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) Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе:										
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них								Самостоятельная работа обучающегося, часы, из них		
		Лекционные занятия	Семинарские занятия	Практические занятия	Лабораторные занятия	...	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости (коллоквиумы, практические контрольные занятия и др.)	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п.
VIII семестр												
Значение ускорителей в физической науке и технологии. Классификация ускорителей		2		2					4			
Резонансное ускорение		2		2				4				
Поперечная устойчивость в синхротроне		2		2				4				
Фазовый эллипс. Расчет магнитной структуры		2		2				4		16	16	
Дисперсия и хроматические эффекты. Искажения орбиты		2		2				4				
Скалярный потенциал. Нелинейности магнитного поля и их действие на поперечное движение		2		2				4				
Пространственный заряд и его действие. Диффузионные процессы		4		4				8				
Динамика в электронных ускорителях. Когерентные колебания		4		4				8		16	16	
Промежуточная аттестация <u>экзамен</u>	36											
Итого		20		20				40		32	32	

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

Предположим, что частица движется вдоль проектной (reference) орбиты и испытывает угловое отклонение θ . Покажите, что после этого движение задается выражением

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

где β_0 – амплитудная функция в точке s_0 отклонения и фаза $\psi(s)$ измеряется от этой точки.

Задача 2

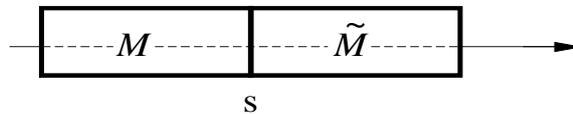
Выведите выражение для площади стационарного бакета (область ограниченная сепаратрисой) в протонном синхротроне с длиной кольца $2\pi R_0$, работающего с кратностью q при синхронной энергии $E_s \gg E_{tr} \gg (m_0 c^2)$ и амплитудой ускоряющего поля V .

Задача 3

Участок магнитной структуры состоит из двух “половинок”. Матрица первой половины есть

$$M = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} \quad \text{с} \quad \det M = 1.$$

\tilde{M} -матрица второй половины, магнитная структура которой зеркально симметрична структуре первой половины относительно точки симметрии s .



Задача: найти матрицу \tilde{M} .

Задача 4

Орбиты могут корректироваться и подстраиваться, используя т.н. *steering* диполи. Один из стандартных алгоритмов основан на так называемом “*three bumps*”. Локальное искажение орбиты может быть сделано тремя *steering* диполями. Пусть три угла отклонения $\theta_1, \theta_2, \theta_3$, создаются соответственно последовательно расположенными короткими *steering* диполями. Покажите, что если эти углы созданы согласно соотношениям:

$$\theta_2 = -\theta_1 \sqrt{\frac{\beta_1 \sin \psi_{13}}{\beta_2 \sin \psi_{23}}} \quad \text{и} \quad \theta_3 = \theta_1 \sqrt{\frac{\beta_1 \sin \psi_{12}}{\beta_3 \sin \psi_{23}}},$$

где ψ_{ij} – набег бетатронной фазы на reference orbit между i^{BM} и j^{BM} *steering* диполями, тогда искажение орбиты будет локализовано между такими первым и третьим *steering* диполями.

Задача 5

Покажите, что набег фазы $\Delta\mu$ бетатронных колебаний от точки s_1 до точки s_2 через участок, описываемый матрицей

$$M(s_2|s_1) = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} \\ m_{21} & m_{22} \end{bmatrix},$$

определяется выражением

$$\text{tg}(\Delta\mu) = \frac{m_{12}}{\beta_1 m_{11} - \alpha_1 m_{12}},$$

где: m_{ij} – элементы матрицы $M(s_2|s_1)$,
 β_1, α_1 – величины амплитудной функции в точке s_1 .

Задача 6

Кольцо синхротрона с периметром $\Pi_0 = 87$ км ускоряет протоны от 2 TeV до 20 TeV в течение 1500 секунд. Ускоряющая система с $U_0 = 15$ MV и работает с частотой $f_{rf} = 360$ MHz. Найти φ_s и частоту малых фазовых колебаний предполагая $\gamma_{tr} = 105$ в приближении $\gamma \gg \gamma_{tr}$.

Задача 7

Выведите выражение для площади стационарного bucket'a. Оцените эту площадь для протонного синхротрона с периметром $\Pi = 2\pi 10^3$ м, работающего с кратностью ускорения $q = 1113$ при синхронной энергии $E_s = 150$ GeV, с амплитудой ускоряющего поля $U = 1$ MV и $\gamma_{tr} = 18$.

Задача 8

Вывести выражение для продольного эмиттанса пучка с максимальной амплитудой фазовых колебаний φ_m в стационарном bucket'e. Используйте это выражение для оценки продольного эмиттанса банча при $\varphi_m = 0.5$ в синхротроне предыдущей задачи.

Задача 9

Синхротрон со стационарным bucket'ом, т.е. $\varphi_s = \pm\pi/2$. Найти отношение частот синхротронных колебаний

$$\frac{\Omega(\varphi_m)}{\Omega(0)} \equiv \frac{\Omega(\varphi_m)}{\Omega_0}.$$

Задача 10

По определению орбитой называется замкнутая периодическая траектория, определяемая единственными начальными значениями в пространстве $\{\zeta, \zeta'\}$, и как траектория при наличии дипольных возмущений магнитного поля описывается решением уравнения

$$\zeta'' + K_\zeta(s)\zeta = \frac{\Delta B(s)}{(B\rho)},$$

где: $\Delta B(s)$ –дипольное возмущение, не зависящее от поперечных координат x и y ;

$$\text{при } \zeta \equiv x \rightarrow \Delta B(s) = -\Delta B_y(s);$$

$$\text{при } \zeta \equiv y \rightarrow \Delta B(s) = \Delta B_x(s).$$

Найти искажение (смещение орбиты от reference orbit), вызываемое локальным (коротким) дипольным возмущением $\Delta B(s)$.

Задача 11

Предположим, что в кольцо синхротрона на reference orbit помещен в точке s_1 квадруполь пренебрежимо малой длины l с силой $Gl/(B\rho)$. Найти изменение частоты бетатронных колебаний ΔQ_ζ .

Методическое обеспечение инновационных форм учебных занятий
 Решение практических задач.

Методические указания для самостоятельной работы обучающихся и прочее

№ п/п	№ раздела дисциплины	Содержание самостоятельной работы	Трудоемкость
1	2-7	Выполнение работы ПР-2.1	16
2	2-7	Выполнение работы ПР-2.2	16

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

В случае использования инновационных форм проведения учебных занятий приводится перечень инновационных форм проведения учебных занятий (по видам учебных занятий).

(сведения о наличии по дисциплине (модулю) инновационных форм проведения учебных занятий, о количестве часов по видам учебных занятий отражаются в учебном плане по образовательной программе)

Инновационные формы проведения учебных занятий

Семестр	Вид учебных занятий	Используемые инновационные формы проведения учебных занятий	Количество академ. часов
VIII 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 VIII семестре является экзамен. Во время сдачи экзамена студент может набрать максимально **30** баллов.

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

№	Вид работы	Сумма баллов
1	Работа на практических занятиях	10
2	Сдача работы ПР-2.1	25
3	Сдача работы ПР-2.2	25
4	Аудиторные занятия (посещение)	10
	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

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)

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

График выполнения самостоятельных работ студентами в VIII семестре

Виды работ	Недели учебного процесса																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
ПР-2.1	ВЗ				ЗЗ												
ПР-2.2					ВЗ					ЗЗ							

ВЗ – выдача задания

ЗЗ – 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) Знать: воспроизво	I - пороговый	Отсутствие знаний	Не знает понятий, идей и методов фун-	Слабо знает учебный материал и математиче	Достаточно полно знает понятия, идеи и методы,	В совершенстве знает понятия, идеи и методы,	Устное собеседование

<p>дять и объяснять учебный материал с требуемой степенью научной точности и полноты; основной математический аппарат, который используется для освоения профильных физических дисциплин</p>			<p>даментальной и экспериментальной физики; методологию построения математических алгоритмов и моделей; не понимает смысла основных законов физики и математики; не раскрывает учебный материал</p>	<p>ский аппарат, используемый при решении профильных задач; плохо знает специализированную литературу и эффективные методы решения профильных задач</p>	<p>связанные с дисциплинами профиля «Медицинская физика»; знает, как систематизировать методы фундаментальной математики для построения математических моделей в элементарных прикладных задачах</p>	<p>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</p>	
<p>32 (ПК-1) Знать: свойства и структуру физических процессов, происходящих в различных средах; основные закономерности формирования законов в области теоретической и экспериментальной физики</p>		<p>Отсутствие знаний</p>	<p>Не имеет представления о физических процессах, происходящих в различных средах; не знает основные закономерности формирования законов и методов теоретической и экспериментальной физики</p>	<p>Знает основные методы решения типовых задач и умеет их применять на практике; путает характеристики физических процессов, протекающих в различных средах; делает ошибки в основной терминологии и законах фундаментальной и экспериментальной физики</p>	<p>Знает методы корректного использования математического моделирования при решении теоретических и прикладных задач; четко формулирует основные законы теоретической и экспериментальной физики; хорошо знает профессиональную терминологию; понимает связи между различными физическими понятиями</p>	<p>Самостоятельно выбирает и оценивает физический (математический) метод анализа физического процесса; четко формулирует основные закономерности теоретической и экспериментальной физики</p>	<p><i>Устное собеседование</i></p>
<p>У1 (ПК-1) Уметь: выстраивать взаимосвязи и между физическими науками;</p>	<p>I - пороговый</p>	<p>Отсутствие умений</p>	<p>Не умеет использовать физическую терминологию; не видит связи между физическими науками; не умеет ана-</p>	<p>Делает ошибки в используемой терминологии; не всегда видит связь между физическим и науками;</p>	<p>Умеет выстраивать взаимосвязи между физическими науками; хорошо умеет решать типовые задачи; объяснять причинно-</p>	<p>Самостоятельно умеет выстраивать взаимосвязи между физическими науками; умеет уверенно объяснять причинно-след-</p>	<p><i>Выполнение практического задания</i></p>

<p>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 конкретной физической задачи; формулировать задачи для теоретических расчетов процессов в медицинских приборах; находить необходимые справочные материалы из информационных источников, в том числе, из электронных</p>			<p>лизовать, 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</p>	<p>умеет решать только типичные задачи; поверхностно анализирует; способен интерпретировать только типичные явления; слабо разбирается в используемых методах</p>	<p>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</p>	<p>ственные 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 физического явления</p>	
--	--	--	--	---	---	--	--

каталогов; производить оценочные расчеты эффективности того или иного физического явления							
<i>У2 (ПК-1)</i> Уметь: излагать и критически анализировать базовую общепрофессиональную информацию; решать прикладные задачи на основе фундаментальных знаний		Отсутствии умений	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 в результате исследования; не умеет адекватно применять известные естественнонаучные и математические знания в учебной и профессиональной деятельности	Умеет применять только типичные, наиболее часто встречающиеся приемы по решению конкретной физической задачи; плохо оперирует профессиональной информацией; поверхностно излагает информацию; недостаточно использует математический аппарат при решении задач; путается в основных понятиях фундаментальной и экспериментальной физики; делает ошибки при решении физических задач	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 методы математического моделирования при решении теоретических и прикладных задач; применять компьютерные математические программы при решении задач	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 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>Выполнение практического задания</i>
<i>В1 (ПК-1)</i> Владеть: навыками самостоятельной работы со специализи	I - пороговый	Отсутствии владения	Не владеет понятийным аппаратом физики; навыками самостоятельной	Недостаточно владеет методами математического аппарата, статистическими ме-	Хорошо владеет навыками применения современного математического инструментария	Свободно владеет математическим аппаратом и статистическими методами обработки данных	<i>Выполнение практического задания</i>

<p>рованной 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 обработки информации с помощью современного программного обеспечения (ПО); навыками применения современного математического инструментария для</p>			<p>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 обработки информации с помощью современного программного обеспечения (ПО); навыками применения современного математического инструментария для решения физических задач; методами математического</p>	<p>тодами 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 библиографического поиска</p>	<p>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 современную ПО, ориентируется в специализированной литературе</p>	<p>с применением современного ПО; уверено владеет техникой решения усложненных задач; легко ориентируется в специализированной литературе</p>	
--	--	--	--	---	--	--	--

<p>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</p>			<p>аппарата, статистическими методами обработки данных; методикой построения, анализа и применения математических моделей для оценки состояния и прогноза развития физических процессов и явлений</p>				
<p><i>B2 (ПК-1)</i> Владеть: навыками проведения научно-исследовательского эксперимента, 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>Отсутствии владения</p>	<p>Не владеет учебным материалом и специализированными знаниями в области физики; не владеет навыками проведения научно-исследовательского эксперимента; не обладает способностью вести корректную дискуссию в процессе представления результатов собственной теоретической работы или эксперимента</p>	<p>Не всегда в состоянии продемонстрировать оптимальность выбранного метода исследования 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 экспери-</p>	<p>В состоянии проводить экспериментальные исследования под руководством опытного преподавателя; хорошо владеет навыками синтеза различных методов математического аппарата и программирования для их эффективного использования в профессиональной деятельности; в состоянии продемонстрировать, объяснить и защитить построенную</p>	<p>Свободно ориентируется в способах воздействия на аудиторию; уверенно владеет навыком прогнозирования результатов применения различных математических и программных методов при решении физических задач; самостоятельно проводит научно-исследовательский эксперимент</p>	<p><i>Выполнение практического задания</i></p>

				мента	математическую или физическую модель		
--	--	--	--	-------	--------------------------------------	--	--

- 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 экзамену

1. Примеры применения ускорителей в науке и технике.
2. Встречные пучки, светимость коллайдера.
3. Высоковольтные ускорители прямого действия.
4. Линейные индукционные ускорители.
5. Циклические ускорители с постоянной орбитой.
6. Циклические ускорители с переменной орбитой.
7. В чем принцип резонансного ускорения.
8. Ускоритель Альвареца.
9. Синхротроны с совмещенными и разделенными функциями магнитной структуры. Примеры: У-70, Бустер ИФВЭ, УНК, проект Омега в ИФВЭ.
10. Проектная орбита (reference orbit) и подвижная система координат на этой орбите.
11. Коэффициент расширения орбиты.
12. Автофазировка в синхротроне, синхронная энергия и синхронная фаза, критическая энергия,
13. Уравнения синхротронных колебаний.
14. “Масса” и частота синхротронных колебаний.
15. Сепаратриса в продольном фазовом пространстве, продольный эмиттанс пучка и аксептанс.
16. Теорема Лиувилля в фазовом пространстве синхротронных колебаний.
 1. Адиабатическое изменение параметров синхротронных колебаний.
 2. Уравнения поперечного движения в синхротроне.
 3. Уравнение Хилла, период магнитной структуры.
 4. Слабая и сильная фокусировка.
 5. Основные типы электромагнитов в синхротроне
 6. Матричный метод решения уравнения Хилла.
 7. Критерий устойчивости поперечного движения.
 8. Описание бетатронных колебаний посредством непрерывных бета и фазовых функции.
 9. Параметры Куранта-Снайдера, матрица Твисса.
 10. Частота бетатронных колебаний, фазовый эллипс.
 11. Согласованные и не согласованные пучки.
 12. Эмиттанс пучка и аксептанс вакуумной камеры.
 13. Инвариантный (нормализованный) эмиттанс пучка.
 14. Естественная хроматичность ускорителя.
 15. Хроматический разброс бетатронных частот в пучке.
 16. Принцип коррекции хроматичности.
 17. Коррекция искажений орбиты.
 18. Создание бампов орбиты.
 19. Скалярный потенциал плоского магнитного поля.
 20. Нормальные и косые мультиполи.
 21. Краевые поля. Краевая фокусировка в диполях.
 22. Нелинейные уравнения бетатронного движения в канонических переменных.
 23. Суммовые и разностные бетатронные резонансы.

24. Сдвиг бетатронных частот.
25. Ширина резонанса. Биения размеров пучка. Параметрический резонанс.
26. Косой квадруполь и линейный резонанс связи.
27. Использование секступольного резонанса для медленного вывода пучка из синхротрона.
28. Зависимость сдвигов частот от амплитуд колебаний.
29. Разброс частот в пучке и системы его коррекции.
30. Влияние нормальных паразитных мультиполей на процесс медленного вывода.
31. Некогерентный кулоновский сдвиг бетатронных частот.
32. Нелинейный кулоновский разброс бетатронных частот.
33. Кулоновское взаимодействие сталкивающихся сгустков в коллайдере.
34. Ограничение светимости коллайдера.
35. Рассогласование при инъекции: ошибки дипольного поля и ошибки фокусировки.
36. Диффузионные процессы: кулоновское и ядерное рассеяние на остаточном газе. Требование к вакууму в протонных синхротронах.
37. Синхротронное излучение в электронных ускорителях.
38. Декременты колебаний в ускорителях с различными типами фокусировки.
39. Влияние квантовых флуктуаций излучения на движение электронов.
40. Когерентные бетатронные колебания.
41. Когерентная поперечная неустойчивость пучка.
42. Продольная неустойчивость пучка (эффект отрицательной массы).

Темы домашних работ (ПР-2.1, ПР-2.2)

1. Типы линейных ускорителей: прямого действия и резонансные Циклические ускорители с постоянной орбитой и с переменной орбитой.
2. Резонансный принцип ускорения.
3. Проектная орбита. Коэффициент расширения орбиты. Принцип автофазировки и синхротронные колебания.
4. Сепаратриса в фазовом пространстве и теорема Лиувилля синхротронных колебаний.
5. Уравнения поперечного движения в синхротроне. Матричный метод решения уравнения Хилла. Описание бетатронных колебаний с помощью непрерывных бета и фазовых функции.
6. Параметры Куранта-Снайдера, матрица Твисса. Вычисление параметров Куранта-Снайдера, частота бетатронных колебаний, фазовый эллипс.
7. Дисперсионная функция в замкнутой магнитной структуре и её расчет. Естественная хроматичность ускорителя и хроматический разброс бетатронных частот в пучке. Принцип коррекции хроматичности.
8. Нормальные и косые мультиполи, их представление и измерение.
9. Краевая фокусировка в диполях.
10. Нелинейные уравнения бетатронного движения в канонических переменных. Сдвиг бетатронных частот. Суммовые и разностные бетатронные резонансы.
11. Ширина резонанса. Биения размеров пучка. Параметрический резонанс. Использование секступольного резонанса для медленного вывода пучка из синхротрона.
12. Зависимость сдвигов частот от амплитуд колебаний. Разброс частот в пучке и системы его коррекции.
13. Некогерентный кулоновский сдвиг бетатронных частот.
14. Диффузионные процессы: кулоновское и ядерное рассеяние на остаточном газе. Требование к вакууму в синхротронах.
15. Синхротронное излучение в электронных ускорителях. Влияние квантовых флуктуаций излучения на движение электронов.

- 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 системы 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 : учебное пособие / С. И. Кузнецов; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. - 45 с. - Текст : электронный. // ЭБС "Znanium.com". URL: <https://znanium.com/catalog/document?id=158010> (дата обращения: 08.04.2020). Режим доступа: ограниченный по логину и паролю
2. Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника: высокочастотные дефлекторы : учебное пособие для вузов / А.А. Завадцев [и др.]; под редакцией Д. А. Завадцева. - 2-е изд. - М. : Юрайт, 2019. - 179 с. : ил. - (Университеты России). - ISBN 978-5-534-11021-0
Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника: высокочастотные дефлекторы : учебное пособие для вузов / А. А. Завадцев [и др.] ; под редакцией Д. А. Завадцева. — 2-е изд. — Москва : Издательство Юрайт, 2020. — 179 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-11021-0. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <http://biblio-online.ru/bcode/456334> (дата обращения: 27.03.2020).
3. Иванов, А. В. Динамика заряженных частиц и интенсивных пучков в стационарных полях/Иванов А.В. - Новосибирск : НГТУ, 2011. - 211 с.: ISBN 978-5-7782-1635-8. - Текст : электронный. // ЭБС "Znanium.com".- URL: <https://znanium.com/catalog/product/546733> (дата обращения: 16.04.2020). Режим доступа: ограниченный по логину и паролю
4. 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.

Дополнительная учебная литература

1. Канн, К. Б. Курс общей физики: Учебное пособие / К.Б. Канн. - Москва : КУРС: НИЦ ИНФРА-М, 2018. - 360 с. - ISBN 978-5-16-100593-4. - Текст : электронный. // ЭБС "Znanium.com". - URL: <http://znanium.com/catalog/product/956758> (дата обращения: 09.04.2020). Режим доступа: ограниченный по логину и паролю
2. Кузнецов, С. И. Физика. Волновая оптика. Квантовая природа излучения. Элементы атомной и ядерной физики : учеб. пособие / С.И. Кузнецов, А.М. Лидер. — 3-е изд., перераб. и доп. — Москва : Вузовский учебник : ИНФРА-М, 2019. — 212 с. - ISBN 978-5-16-100426-5. - Текст : электронный. // ЭБС "Znanium.com". - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1002478> (дата обращения: 16.04.2020). Режим доступа: ограниченный по логину и паролю
3. Сивухин Д.В. Общий курс физики : Учебное пособие для вузов в 5 т. Т.5 : Атомная и ядерная физика / Д. В. Сивухин. - 3-е изд., стер. - М. : Физматлит, 2018. - 784с. : ил. - ISBN 978-5-9221-0645-0

- **Периодические издания**

1. Журнал экспериментальной и теоретической физики: / Учредитель: РАН, Институт физических проблем им. П.Л. Капицы РАН; гл. ред. акад. Андреев А.Ф. - М.: ФГБУ «Российская академия наук». – Журнал выходит 1 раз в мес. - Основан в 1931 году. - ISSN 0044-4510. – Текст : электронный. Полные тексты статей журнала доступны по подписке

на сайте научной электронной библиотеки «eLIBRARY.RU»:
https://www.elibrary.ru/title_about.asp?id=8682

2. 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 : электронный. – Полные электронные версии статей журнала доступны по подписке на сайте научной электронной библиотеки «eLIBRARY.RU»:
<https://www.elibrary.ru/contents.asp?id=42372751>
3. Ядерная физика: научный журнал / Учредитель: Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ "Курчатовский институт"; гл. ред.: Далькаров О.Д. – М.: ООО «ИКЦ «Академкнига». – Журнал выходит 6 раз в год. - Журнал основан в 1965 году. - ISSN 0044-0027. – Текст : электронный. Полные электронные версии статей журнала доступны по подписке на сайте научной электронной библиотеки «eLIBRARY.RU»: https://www.elibrary.ru/title_about_new.asp?id=8304
4. Вестник Московского государственного областного университета. Серия: физика-математика: научный журнал / Учредитель: Московский государственный областной университет; гл. ред. Бугаев А.С. – М.:МГОУ. – Журнал выходит 6 раз в год. - Основан в 1998 году - ISSN 2310-7251. – Текст : электронный. – Полные электронные версии статей журнала доступны на сайте научной электронной библиотеки «eLIBRARY.RU»:
https://elibrary.ru/title_about.asp?id=25657

• **Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»**
Электронно-библиотечные системы и базы данных

1. ЭБС «Znaniium.com»: <http://znaniium.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. Math-Net.Ru - современная информационная система, предоставляющая российским и зарубежным математикам различные возможности поиска информации о математической жизни в России – <http://www.mathnet.ru/>
2. 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/>
3. SciGuide - навигатор по зарубежным научным электронным ресурсам открытого доступа. <http://www.prometeus.nsc.ru/sciguide/page0601.ssi>
4. ArXiv.org - научно-поисковая система, специализируется в областях: компьютерных наук, астрофизики, физики, математики, квантовой биологии. <http://arxiv.org/>
5. WorldWideScience.org - глобальная научная поисковая система, которая осуществляет поиск информации по национальным и международным научным базам данных и порталам. <http://worldwidescience.org/>

Профессиональные ресурсы сети «Интернет»

1. Федеральная информационная система «Единое окно доступа к информационным ресурсам»: <http://window.edu.ru/>
2. Образовательный математический сайт EXPonent.ru <http://exponenta.ru/>
3. Математический сайт Math.ru <http://math.ru/lib/>

- **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 определенном 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