

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ЛУГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ ВЛАДИМИРА ДАЛЯ»

Институт технологий и инженерной механики
Кафедра физики

УТВЕРЖДАЮ

Директор института технологий и
инженерной механики


« 25 » 02 2025 г. Могильная Е.П.

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ
по учебной дисциплине**

Физика ускорителей

(наименование учебной дисциплины, практики)

03.04.02 Физика

(код и наименование направления подготовки (специальности))

«Теоретическая и математическая физика»

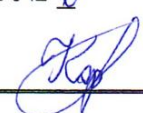
(наименование профиля подготовки (специальности, магистерской программы); при отсутствии ставится прочерк)

Разработчик:

доцент  Харченко Е.И.

ФОС рассмотрен и одобрен на заседании кафедры физики

от 25 02 2025 г., протокол № 6

Заведующий кафедрой  Корсунов К.А.

Луганск 2025 г.

**Комплект оценочных материалов по дисциплине
«Физика ускорителей»**

Задания закрытого типа

Задания закрытого типа на выбор правильного ответа

1. Выберите один правильный ответ

Укажите правильное соотношение между электронвольтом и джоулем:

А) $1 \text{ эВ} = 6,02 \cdot 10^{-23} \text{ Дж}$

Б) $1 \text{ эВ} = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ Дж}$

В) $1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$

Г) $1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-27} \text{ Дж}$

Правильный ответ: В

Компетенции (индикаторы): ОПК-1 (ОПК-1.1, ОПК-1.2)

2. Выберите один правильный ответ

Как импульс частиц связан с энергией в релятивистском случае?

А) $E = pc + mc^2$

Б) $E^2 = (pc)^2 + (mc^2)^2$;

В) $E^2 = (pc)^2 + mc^2$;

Г) $E = \sqrt{(pc)^2 + mc^2}$

Правильный ответ: Б

Компетенции (индикаторы): ОПК-1 (ОПК-1.1, ОПК-1.2)

3. Выберите один правильный ответ

Укажите формулу для изменения импульса частицы в вакуумной ускорительной трубке

А) $\frac{d\vec{p}}{dt} = e\vec{E} + e\vec{v} \times \vec{B}$;

Б) $\frac{d\vec{p}}{dt} = e\vec{E}$;

В) $\frac{d\vec{p}}{dt} = e\vec{E} + e\vec{v}\vec{B}$;

Г) $\frac{d\vec{p}}{dt} = e\vec{v}\vec{B}$

Правильный ответ: А

Компетенции (индикаторы): ПК-1 (ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-1.3, ПК-1.4)

4. Выберите один правильный ответ

Укажите формулу для изменения энергии частицы при высоковольтном ускорении:

А) $dT = e\vec{E}d\vec{v}$;

Б) $dT = e\vec{E}d\vec{r}$

В) $dT = e\vec{B}d\vec{r}$;

Г) $dT = e\vec{B}d\vec{v}$

Д) нет правильного ответа

Правильный ответ: Б

Компетенции (индикаторы): ПК-1 (ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-1.3, ПК-1.4)

5. Выберите один правильный ответ

Чему равен прирост энергии частицы при движении в потенциальном электрическом поле?

А) $\Delta T = -e \frac{\partial \Phi}{\partial t}$;

Б) $\Delta T \approx 2eUn$;

В) $\Delta T = eU$;

Г) $\Delta T = -e \frac{\partial U}{\partial t}$

Д) нет правильного ответа.

Правильный ответ: В

Компетенции (индикаторы): ПК-1 (ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-1.3, ПК-1.4)

6. Выберите один правильный ответ

Чему равно приращение энергии частицы при индукционном ускорении в переменном магнитном поле

А) $\Delta T = -e \frac{\partial \Phi}{\partial t}$;

Б) $\Delta T = eU$;

В) $\frac{dT}{dt} = -\left(\frac{ev}{l}\right)\left(\frac{\partial \Phi}{\partial t}\right)$;

Г) $\frac{dT}{dt} = eU$

Правильный ответ: А

Компетенции (индикаторы): ПК-1 (ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-1.3, ПК-1.4)

7. Выберите один правильный ответ

Как определяется скорость изменения энергии частицы в циклическом индукционном ускорителе – бетатроне:

А) $\Delta T = -e \frac{\partial \Phi}{\partial t}$

Б) $\frac{dT}{dt} = eU$

В); $\frac{dT}{dt} = -e \frac{\partial \Phi}{\partial t}$

Г) $\frac{dT}{dt} = -\left(\frac{ev}{l}\right)\left(\frac{\partial \Phi}{\partial t}\right).$

Правильный ответ: Г

Компетенции (индикаторы): ПК-2(ПК-2.1, ПК-2.2, ПК-2.3, ПК-2.4)

8. Выберите один правильный ответ

Чему равна частота обращения частицы в магнитном поле?

А) $\omega = 2 \frac{eB}{m};$

Б) $\omega = \frac{eB}{m};$

В) $\omega = \frac{m}{eB};$

Г) $\omega = \frac{eB}{2m}$

Правильный ответ: Б

Компетенции (индикаторы): ПК-2(ПК-2.1, ПК-2.2, ПК-2.3, ПК-2.4)

9. Выберите один правильный ответ

По какой формуле определяется радиус орбиты, по которой вращается частица в магнитном поле?

А) $R \approx \frac{\sqrt{2T}}{eBc};$

Б) $R = \frac{2m\nu}{eB};$

В) $R = \frac{mc}{eB};$

Г) $R = \frac{m\nu}{eB}$

Правильный ответ: Г

Компетенции (индикаторы): ПК-2(ПК-2.1, ПК-2.2, ПК-2.3, ПК-2.4)

Задания закрытого типа на установление соответствия

1. Установите правильное соответствие. Каждому элементу левого столбца соответствует только один элемент правого столбца.

	Физическая величина		Математическое выражение
1)	Импульс частицы в релятивистском случае	А)	$\frac{d\vec{p}}{dt} = e\vec{E} + e\vec{v} \times \vec{B}$
2)	Формула для изменения импульса частицы в вакуумной ускорительной трубке	Б)	$p = \frac{1}{c} \sqrt{E^2 - m^2 c^4}$
3)	Максимальный импульс, который может получить частица в бетатроне	В)	$p = BeR$
4)	Импульс частицы на орбите в магнитном поле	Г)	$\Delta p_{\text{макс}} = (e/l) \Delta\Phi $

Правильный ответ:

1	2	3	4
Б	А	Г	В

Компетенции (индикаторы): ПК-2(ПК-2.1, ПК-2.2, ПК-2.3, ПК-2.4)

2. Установите правильное соответствие. Каждому элементу левого столбца соответствует только один элемент правого столбца.

	Физическая величина		Математическое выражение
1)	приращение энергии частицы при движении в потенциальном электрическом поле	А)	$\Delta T = -e \frac{\partial \Phi}{\partial t}$
2)	формула для изменения энергии частицы при высоковольтном ускорении	Б)	$\frac{dT}{dt} = -\left(\frac{ev}{l}\right)\left(\frac{\partial \Phi}{\partial t}\right)$
3)	приращение энергии частицы при индукционном ускорении в переменном магнитном поле	В)	$dT = e\vec{E}d\vec{r}$
4)	скорость изменения энергии частицы в циклическом индукционном ускорителе – бетатроне	Г)	$\Delta T = eU$

Правильный ответ:

1	2	3	4
Г	В	А	Б

Компетенции (индикаторы): ОПК-1 (ОПК-1.1, ОПК-1.2)

3. Установите правильное соответствие. Каждому элементу левого столбца соответствует только один элемент правого столбца.

	Физическая величина		Математическое выражение
1)	Частота обращения частицы в магнитном поле	А)	$p = BeR$
2)	Радиус орбиты, по которой вращается частица в магнитном поле	Б)	$R \approx \sqrt{\frac{2Tm_0c^2}{eBc}}$

3)	Импульс частицы при вращении в магнитном поле	В)	$\omega = \frac{eB}{m}$
4)	Радиус орбиты нерелятивистской частицы в зависимости от ее энергии	Г)	$R = \frac{mv}{eB}$

Правильный ответ:

1	2	3	4
Б	А	Г	В

Компетенции (индикаторы): ОПК-1 (ОПК-1.1, ОПК-1.2)

Задания закрытого типа на установление правильной последовательности

Установите правильную последовательность.

Запишите правильную последовательность букв слева направо.

1. Установите правильную последовательность работы циклотрона. Запишите правильную последовательность букв слева направо.

А) Магнитное поле, в которое помещены дуанты, действует на частицу с силой $e\upsilon B$, заставляя ее двигаться по окружности.

Б) Заряженная частица вылетает из источника ионов, помещенного в центре между дуантами, со скоростью υ_0 ;

В) Попадая в зазор между дуантами, частица ускоряется в электрическом поле, одновременно увеличивается радиус окружности, по которой она движется.

Г) По достижении максимальной энергии, т. е. максимального радиуса орбиты, ускоренные частицы попадают на мишень или выводятся из циклотрона для последующего использования в эксперименте.

Д) Частица многократно проходит один-два зазора, попадая в них, когда поле является ускоряющим

Е) Кинетическая энергия линейно растет с числом оборотов n : $T \approx 2eUn$.

Правильный ответ: Б, А, В, Д, Е, Г

Компетенции (индикаторы): ОПК-1, ПК-1, ПК-2

Задания открытого типа

Задания открытого типа на дополнение

1. Напишите пропущенное слово (словосочетание)

Циклические индукционные ускорители, в которых ускоряемые электроны удерживаются магнитным полем на кольцевой орбите, а ускорение производится вихревым электрическим полем, индуцируемым переменным магнитным полем, проходящим через сердечник, называются _____.

Правильный ответ: бетатронами.

Компетенции (индикаторы): ПК-1 (ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-1.3, ПК-1.4)

2. Напишите пропущенное слово (словосочетание)

_____ – циклический резонансный ускоритель протонов (или ионов), в котором меняются во времени и магнитное поле $\langle B \rangle$, и частота ω_y электрического ускоряющего поля, причем так, что радиус равновесной орбиты остается постоянным.

Правильный ответ: Синхрофазотрон

Компетенции (индикаторы): ПК-1 (ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-1.3, ПК-1.4)

3. Напишите пропущенное слово (словосочетание)

_____ – циклический резонансный ускоритель, в котором частота электрического ускоряющего поля постоянна, а меняется во времени лишь магнитное поле.

Правильный ответ: Синхротрон

Компетенции (индикаторы): ПК-1 (ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-1.3, ПК-1.4)

4. Напишите пропущенное слово (словосочетание)

_____ – циклический резонансный ускоритель тяжелых частиц, в котором и магнитное поле, и частота электрического ускоряющего поля постоянны во времени.

Правильный ответ: Циклотрон

Компетенции (индикаторы): ПК-1 (ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-1.3, ПК-1.4)

5. Напишите пропущенное слово (словосочетание)

Ускорители, использующие постоянное магнитное поле и ускоряющее поле переменной частоты, называются _____

Правильный ответ: фазотронами

Компетенции (индикаторы): ПК-1 (ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-1.3, ПК-1.4)

Задания открытого типа с кратким свободным ответом

1. Напишите пропущенное слово (словосочетание)

Циклический ускоритель электронов, в котором постоянны во времени и B , и ω_y , а условие резонанса для релятивистских частиц сохраняется за счет изменения кратности частоты от оборота к обороту называется _____

Правильный ответ: микротроном / электронным циклотроном
Компетенции (индикаторы): ПК-2(ПК-2.1, ПК-2.2, ПК-2.3, ПК-2.4)

Задания открытого типа с развернутым ответом

1. Решите задачу. Приведите полное решение задачи.

Протоны ускоряют в циклотроне так, что максимальный радиус кривизны их траектории $r = 50$ см. Найти кинетическую энергию протонов в конце ускорения, если индукция магнитного поля в циклотроне.

Время выполнения – 15 мин.

Критерии оценивания: полное содержательное соответствие приведенному ниже пояснению.

Ожидаемый результат:

Решение: Из уравнения движения протонов в магнитном поле $\frac{mv^2}{r} = Bev$ находим импульс частицы $p = mv = Ber$. Тогда кинетическая энергия

$$T = \frac{p^2}{2m} = \frac{(Ber)^2}{2m} = \frac{(1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 0,5)^2}{2 \cdot 1,672 \cdot 10^{-27}} = 1,9 \cdot 10^{-12} \text{ Дж}.$$

Ответ: $T = \frac{(Ber)^2}{2m} = 1,9 \cdot 10^{-12} \text{ Дж}.$

Компетенции (индикаторы): ПК-2(ПК-2.1, ПК-2.2, ПК-2.3, ПК-2.4)

2. Решите задачу. Приведите полное решение задачи.

Протоны ускоряют в циклотроне так, что максимальный радиус кривизны их траектории $r = 50$ см. Найти минимальную частоту генератора циклотрона, при которой в конце ускорения протоны будут иметь кинетическую энергию $T = 20$ МэВ. Масса протона $m_p = 1,672 \cdot 10^{-27}$ кг.

Время выполнения – 15 мин.

Критерии оценивания: полное содержательное соответствие приведенному ниже пояснению.

Ожидаемый результат:

Решение: Кинетическая энергия протона $T = \frac{mv^2}{2}$

Скорость связана с частотой отношением $v = \omega r = 2\pi\nu r$. Тогда кинетическая энергия

$$T = \frac{mv^2}{2} = \frac{1}{2} m \omega^2 r^2 = \frac{1}{2} 4\pi^2 \nu^2 m r^2.$$

Отсюда минимальная частота $\nu_{\min} = \frac{1}{\pi r} \sqrt{\frac{T}{2m}} = 15 \text{ МГц}.$

Ответ: $v_{\min} = \frac{1}{\pi r} \sqrt{\frac{T}{2m}} = 20 \text{ МГц.}$

Компетенции (индикаторы): ПК-2(ПК-2.1, ПК-2.2, ПК-2.3, ПК-2.4)

3. Решите задачу. Приведите полное решение задачи.

Ион, несущий один элементарный заряд, движется в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,015 \text{ Тл}$ по окружности радиусом $R = 10 \text{ см.}$

Определить импульс p иона.

Время выполнения – 15 мин.

Ожидаемый результат:

Решение: Уравнение движения заряженной частицы в магнитном поле

$$\frac{mv^2}{r} = Bev.$$

Отсюда получаем $p = mv = Ber$

$$p = BeR = 0,015 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 0,1 = 2,4 \cdot 10^{-22} \text{ (кг} \cdot \text{м/с)}$$

Ответ: $p = 2,4 \cdot 10^{-22} \text{ кг} \cdot \text{м/с}$

Компетенции (индикаторы): ПК-2(ПК-2.1, ПК-2.2, ПК-2.3, ПК-2.4)

4. Решите задачу. Приведите полное решение задачи.

Протон, прошедший ускоряющую разность потенциалов $U = 600 \text{ В}$, влетел в однородное магнитное поле с индукцией $B = 0,3 \text{ Тл}$ и начал двигаться по окружности. Вычислить ее радиус R .

Время выполнения – 15 мин.

Ожидаемый результат:

Решение: Протон, прошедший ускоряющую разность потенциалов U ,

приобретет кинетическую энергию $T = \frac{mv^2}{2} = eU$, где eU – работа

электрического поля. Отсюда скорость протона $v = \sqrt{\frac{2eU}{m}}$. Из уравнения

движения протонов в магнитном поле $\frac{mv^2}{R} = Bev$ находим радиус окружности

$R = \frac{mv}{Be}$. Подставляя выражение для скорости, получим

$$R = \frac{m}{Be} \sqrt{\frac{2eU}{m}} = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2Um}{e}}$$

$$R = \frac{1}{0,3} \sqrt{\frac{2 \cdot 600 \cdot 1,672 \cdot 10^{-27}}{1,6 \cdot 10^{-19}}} = 11,8 \cdot 10^{-3} \text{ м} \approx 12 \text{ мм.}$$

Ответ: $R = 12 \text{ мм}$

Компетенции (индикаторы): ПК-2(ПК-2.1, ПК-2.2, ПК-2.3, ПК-2.4)

5. Решите задачу. Приведите полное решение задачи.

Вычислить скорость v и кинетическую энергию T α -частиц, выходящих из циклотрона, если, подходя к выходному окну, ионы движутся по окружности радиусом $R = 50$ см. Индукция B магнитного поля циклотрона равна 1,7 Тл.

Время выполнения – 15 мин.

Ожидаемый результат:

Решение: Уравнение движения частицы в магнитном поле

$$\frac{mv^2}{R} = qBv$$

находим скорость $v = \frac{qBR}{m}$. Кинетическая энергия $T = \frac{mv^2}{2} = \frac{(qBR)^2}{2m}$.

Вычисляем

$$v = \frac{qBR}{m} = 41 \text{ Мм/с}; \quad T = \frac{(qBR)^2}{2m} = 34,9 \text{ МэВ}$$

Ответ: $v = 41 \text{ Мм/с}$; $T = 34,9 \text{ МэВ}$.

Компетенции (индикаторы): ПК-2(ПК-2.1, ПК-2.2, ПК-2.3, ПК-2.4)

6. Решите задачу. Приведите полное решение задачи.

Вычислить скорость v и кинетическую энергию T α -частиц, выходящих из циклотрона, если, подходя к выходному окну, ионы движутся по окружности радиусом $R = 50$ см. Индукция B магнитного поля циклотрона равна 1,7 Тл.

Время выполнения – 15 мин.

Ожидаемый результат:

Решение: Уравнение движения частицы в магнитном поле

$$\frac{mv^2}{R} = qBv$$

находим скорость $v = \frac{qBR}{m}$. Кинетическая энергия $T = \frac{mv^2}{2} = \frac{(qBR)^2}{2m}$.

Вычисляем

$$v = \frac{qBR}{m} = 41 \text{ Мм/с}; \quad T = \frac{(qBR)^2}{2m} = 34,9 \text{ МэВ}$$

Ответ: $v = 41 \text{ Мм/с}$; $T = 34,9 \text{ МэВ}$.

Компетенции (индикаторы): ПК-2(ПК-2.1, ПК-2.2, ПК-2.3, ПК-2.4)

7. Решите задачу. Приведите полное решение задачи.

Определить число N оборотов, которые должен сделать протон в магнитном поле циклотрона, чтобы приобрести кинетическую энергию $T = 10$ МэВ, если при каждом обороте протон проходит между дуантами разность потенциалов $U = 30$ кВ.

Время выполнения – 15 мин.

Ожидаемый результат:

Решение. За один оборот протон проходит между дуантами циклотрона два раза, приобретая энергию, равную работе электрического поля $2eU$ поэтому кинетическая энергия, которую приобретет протон за N оборотов, равна $T = 2NeU$. Отсюда число оборотов

$$N = \frac{T}{2eU} = \frac{10 \cdot 10^6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 30 \cdot 10^3} = 167.$$

Ответ: $N = \frac{T}{2|eU|} = 167$

Компетенции (индикаторы): ПК-1 (ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-1.3, ПК-1.4)

8. Решите задачу. Приведите полное решение задачи.

В бетатроне магнитный поток внутри равновесной орбиты радиуса $r = 25$ см возрастает за время ускорения практически с постоянной скоростью $d\Phi/dt = 5,0$ Вб/с. При этом электроны приобретают энергию $W = 25$ МэВ. Найти число оборотов, совершенных электроном за время ускорения.

Время выполнения – 15 мин.

Ожидаемый результат:

Решение: По закону электромагнитной индукции найдем E – напряженность электрического поля, создаваемого изменяющимся магнитным полем $d\Phi/dt$

$$2\pi rE = \frac{d\Phi}{dt}, \text{ откуда } E = \frac{1}{2\pi r} \frac{d\Phi}{dt}.$$

Сила, действующая на электрон

$$F = eE = \frac{e}{2\pi r} \frac{d\Phi}{dt}.$$

Приращение энергии за один оборот равно работе этой силы

$$\Delta W = F 2\pi r = e \frac{d\Phi}{dt}.$$

Число оборотов

$$N = \frac{W}{\Delta W} = \frac{W}{e(d\Phi/dt)}.$$

Ответ: $N = \frac{W}{e(d\Phi/dt)} = 5 \cdot 10^6$ оборотов.

Компетенции (индикаторы): ПК-1 (ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-1.3, ПК-1.4)

Экспертное заключение

Представленный фонд оценочных средств (далее – ФОС) по дисциплине «Физика ускорителей» соответствует требованиям ФГОС ВО.

Предлагаемые формы и средства текущего и промежуточного контроля адекватны целям и задачам реализации основной профессиональной образовательной программы по направлению подготовки 03.04.02 Физика.

Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины представлены в полном объеме.

Виды оценочных средств, включенные в представленный фонд, отвечают основным принципам формирования ФОС.

Разработанный и представленный для экспертизы фонд оценочных средств рекомендуется к использованию в процессе подготовки обучающихся по указанному направлению.

Председатель учебно-методической
комиссии института технологий и
инженерной механики



Ясуник С.Н.

Лист изменений и дополнений

№ п/п	Виды дополнений и изменений	Дата и номер протокола заседания кафедры (кафедр), на котором были рассмотрены и одобрены изменения и дополнения	Подпись (с расшифровкой) заведующего кафедрой (заведующих кафедрами)