

1	2	3	4	5	$\Sigma$	Оценка

Фамилия И.О.	№ группы

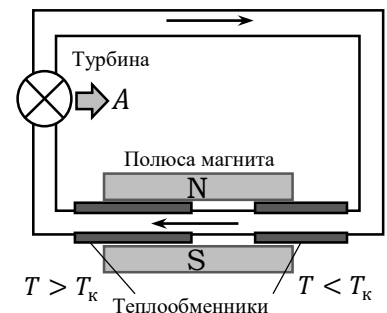
## ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭКЗАМЕН ПО ФИЗИКЕ

письменная часть 19 января 2019 года

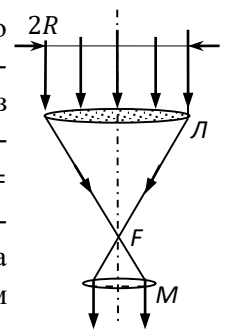
### Вариант А

- 1А.** Современные железнодорожные пути укладываются без стыков, соединяя концы рельсов сварными швами. Рельсы прочно закреплены на шпалах, вкопанных в гравий. При  $t_1 = +30^\circ\text{C}$  натяжение в рельсах равно нулю. Найти силу, необходимую для удерживания шпалы неподвижно в грунте на криволинейном участке пути с радиусом поворота  $R = 350$  м при понижении температуры до  $t_2 = -30^\circ\text{C}$ . Расстояние между шпалами  $d = 50$  см. Характеристики рельсов: плотность  $\rho = 7,8 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>, модуль Юнга  $E = 2 \cdot 10^{11}$  Па, коэффициент линейного теплового расширения  $\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5}$  К<sup>-1</sup>, погонная масса рельса  $m = 65$  кг/м.
- 2А.** В опыте по демонстрации окологривических состояний нагревается запаянная ампула, заполненная жидким эфиром и его парами. В начальном состоянии при температуре  $T_0$  жидкость занимает 60 % объёма ампулы, а её плотность  $\rho_{\text{ж}}(T_0) = 0,42$  г/см<sup>3</sup>. При нагревании жидкость заполняет всю ампулу, а её плотность при этом уменьшается до  $\rho_{\text{ж}}(T') = 0,28$  г/см<sup>3</sup>. Найти величину  $T_0$ , если критическая температура эфира  $T_{\text{кр}} = 467$  К, критическая плотность  $\rho_{\text{кр}} = 0,265$  г/см<sup>3</sup>. Считать, что и в жидком и в газообразном состояниях эфир описывается моделью Ван-дер-Ваальса.  
*Указание:* использовать приведённое уравнение Ван-дер-Ваальса.

- 3А.** На замкнутый контур, в котором может циркулировать ферромагнитная жидкость (ФМЖ), надет постоянный магнит (см. рис.). Вблизи магнита создан перепад температур, так что с одной его стороны температура ниже точки Кюри (температуры фазового перехода между ферромагнитным и парамагнитным состояниями), а с другой – выше. Область перехода соответствует центру магнита, где напряжённость поля  $H = 100$  Э. Пренебрегая потерями на вязкость, оценить установившуюся скорость течения  $v$ , если работа турбины в расчёте на единицу объёма жидкости равна  $A = \beta v$ , где  $\beta = 10^6$  г/(см<sup>2</sup> · с). Восприимчивость ФМЖ в ферромагнитном состоянии считать постоянной:  $\chi = 200$  (ед. СГС).



- 4А.** Нобелевская премия по физике 2018 г. присуждена А. Эшкину за создание «лазерного пинцета» – устройства, позволяющего удерживать и перемещать прозрачные микроскопические объекты с помощью света. Параллельный пучок света от лазера проходит через собирающую линзу  $L$  и падает на микрочастицу  $M$ , которую можно также считать собирающей линзой. Точка  $F$  – из общих фокус (см. рис.). Интенсивность света в пучке  $I = 1$  мкВт/см<sup>2</sup>, радиус пучка  $R = 1$  см, фокусное расстояние линзы  $L$  равно  $F = 10$  см. Пренебрегая дифракционными эффектами, найти величину и направление действующей на микрочастицу силы  $f$ , обусловленной преломлением света. За какое время под действием только этой силы частица сместится на расстояние порядка своего размера  $\ell \sim 10$  мкм, если её масса  $m \sim 1$  нг? Поглощением и отражением света на поверхностях линз пренебречь.



- 5А.** Для  $\alpha$ -распада чётно-чётных ядер период полураспада  $T_{1/2}$  (в секундах) зависит от энергии  $\alpha$ -частицы  $E_\alpha$  (в МэВ) и заряда дочернего ядра  $Z$  по закону Гейгера–Нэттола:  $\lg T_{1/2} = 9,54 \cdot \frac{Z^{0,6}}{\sqrt{E_\alpha}} - 51,37$ . Рассматривая модель, в которой  $\alpha$ -частица находится в потенциальной яме, созданной сильным и кулоновским взаимодействиями, найти отношение периодов полураспада ядер  ${}^{238}_{92}\text{U}$  и  ${}^{238}_{94}\text{Pu}$ , если при распаде ядра плутония  $E_\alpha^{\text{Pu}} = 5,50$  МэВ. Ядро считать однородно заряженным шаром радиуса  $R = 0,855A^{1/3}$  фм, где  $A$  – массовое число ядра;  $\alpha$ -частицу – точечным зарядом; плотность вероятности нахождения  $\alpha$ -частицы в ядре – постоянной.

1	2	3	4	5	$\Sigma$	Оценка

Фамилия И.О.	№ группы

## ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭКЗАМЕН ПО ФИЗИКЕ

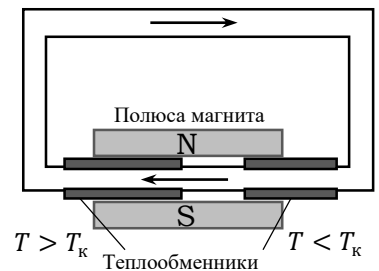
письменная часть 19 января 2019 года

### Вариант Б

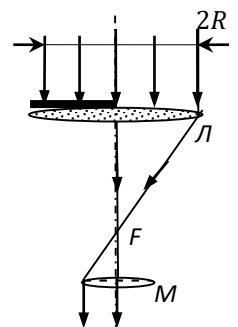
**1Б.** Современные железнодорожные пути укладывают без стыков, соединяя концы рельсов сварными швами. Рельсы прочно прикреплены к шпалам, вкопанным в гравий. При температуре  $t_1 = +30^\circ\text{C}$  напряжение в рельсах отсутствует, а при понижении температуры рельсы оказываются в натянутом состоянии. Каждая шпала способна выдержать без смещения горизонтальное усилие до  $F_{\text{max}} = 5\text{ кН}$ , а при большем усилии «ползёт», так что сопротивление грунта остаётся равным  $F_{\text{max}}$ . Найти смещение  $\Delta l$  конца длинного прямолинейного участка пути при  $t_2 = -30^\circ\text{C}$ . Характеристики материала рельсов: плотность  $\rho = 7,8 \cdot 10^3\text{ кг/м}^3$ , модуль Юнга  $E = 2 \cdot 10^{11}\text{ Па}$ , коэффициент линейного теплового расширения  $\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5}\text{ К}^{-1}$ . Погонная масса рельса  $m = 65\text{ кг/м}$ , расстояние между шпалами  $d = 50\text{ см}$ .

**2Б.** В опыте по демонстрации окологривических состояний нагревается запаянная ампула, заполненная жидким эфиром и его парами. В начальном состоянии жидкость занимает 30 % объёма ампулы, а её плотность  $\rho_{\text{ж}}(T_0) = 0,4\text{ г/см}^3$ . При нагревании граница раздела «жидкость–пар» опустилась и исчезла, так что в пробирке остался только пар. При этом плотность жидкости приблизилась к  $\rho_{\text{ж}}(T) = 0,285\text{ г/см}^3$ , а плотность пара возросла втрое:  $\rho_{\text{п}}(T) = 3\rho_{\text{п}}(T_0)$ . Найти температуру  $T$  системы в этот момент. Критическая температура эфира  $T_{\text{кр}} = 467\text{ К}$ , критическая плотность  $\rho_{\text{кр}} = 0,265\text{ г/см}^3$ . Считать, что и в жидком и в газообразном состояниях эфир описывается моделью Ван-дер-Ваальса.  
*Указание:* использовать приведённое уравнение Ван-дер-Ваальса.

**3Б.** На замкнутый контур из цилиндрических трубок, в котором может циркулировать ферромагнитная жидкость (ФМЖ), надет постоянный магнит (см. рис.). Вблизи магнита создан перепад температур, так что с одной его стороны температура ниже точки Кюри (температуры фазового перехода между ферромагнитным и парамагнитным состояниями), а с другой – выше. Область перехода соответствует центру магнита, где напряжённость поля  $H = 100\text{ Э}$ . Считая течение ламинарным, оценить установившуюся скорость ФМЖ, имеющей вязкость  $\eta = 10\text{ г/(см} \cdot \text{с)}$ . Длина контура  $L = 1\text{ м}$ , сечение трубки  $S = 1\text{ см}^2$ . Восприимчивость ФМЖ в ферромагнитном состоянии считать постоянной:  $\chi = 200$  (ед. СГС).



**4Б.** Нобелевская премия по физике 2018 г. присуждена А. Эшкину за создание «лазерного пинцета» – устройства, позволяющего удерживать и перемещать прозрачные микроскопические объекты с помощью света. Параллельный пучок света от лазера проходит через собирающую линзу  $L$  и затем падает на микрочастицу  $M$ , которую можно также читать собирающей линзой. Точка  $F$  – их общий фокус (см. рис.). Интенсивность света в пучке  $I = 1\text{ мВт/см}^2$ , радиус пучка  $R = 1\text{ см}$ , фокусное расстояние линзы  $L$  равно  $F = 10\text{ см}$ . Для создания поперечной к направлению пучка силы  $f_{\perp}$ , действующей на частицу, левая половина линзы  $L$  перекрывается диафрагмой. Пренебрегая дифракционными эффектами, найти величину и направление  $f_{\perp}$ , обусловленной преломлением света. За какое время под действием только этой силы частица сместится на расстояние порядка своего размера  $\ell \sim 30\text{ мкм}$ , если её масса  $m \sim 10\text{ нг}$ ? Поглощением и отражением света на поверхностях линз пренебречь.



**5Б.** Для  $\alpha$ -распада чётно-чётных ядер период полураспада  $T_{1/2}$  (в секундах) зависит от энергии  $\alpha$ -частицы  $E_{\alpha}$  (в МэВ) и заряда дочернего ядра  $Z$  по закону Гейгера–Нэттола:  $\lg T_{1/2} = 9,54 \cdot \frac{Z^{0,6}}{\sqrt{E_{\alpha}}} - 51,37$ . Используя капельную модель ядра, найти период полураспада ядра тория  ${}^{226}_{90}\text{Th}$ , если для ядра радия  ${}^{226}_{88}\text{Ra}$   $T_{1/2} = 1600\text{ лет}$ . Для кулоновского и симметричного коэффициентов в формуле Вайцеккера принять значения  $C_{\text{кул}} = 0,71\text{ МэВ}$  и  $C_{\text{сим}} = 23,7\text{ МэВ}$ .

1	2	3	4	5	$\Sigma$	Оценка

Фамилия И.О.	№ группы

## ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭКЗАМЕН ПО ФИЗИКЕ

письменная часть 19 января 2019 года

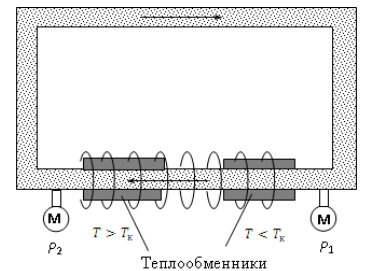
### Вариант В

**1В.** Современные железнодорожные пути укладываются без стыков, соединяя концы рельсов сварными швами. Рельсы прочно прикреплены к шпалам, вкопанным в гравий. При температуре  $t_1 = +30^\circ\text{C}$  напряжение в рельсах отсутствует, а при понижении температуры рельсы оказываются в натянутом состоянии. Каждая шпала способна выдержать без смещения горизонтальное усилие до  $F_{\max} = 5\text{ кН}$ , а при большем усилии «ползёт», так что сопротивление грунта остаётся равным  $F_{\max}$ . При понижении температуры до  $t_2 = -30^\circ\text{C}$  в одном месте прямолинейного пути сварные швы лопнули. Найти величину  $\Delta l$  образовавшегося зазора. Расстояние между шпалами  $d = 50\text{ см}$ . Характеристики рельсов: плотность  $\rho = 7,8 \cdot 10^3\text{ кг/м}^3$ , модуль Юнга  $E = 2 \cdot 10^{11}\text{ Па}$ , коэффициент линейного теплового расширения  $\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5}\text{ К}^{-1}$ , погонная масса рельса  $m = 65\text{ кг/м}$ .

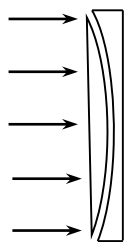
**2В.** Эфир в запаянной ампуле охлаждается из критического состояния. При некоторой температуре 50 % объёма ампулы заполняет жидкий эфир, а 50% – его пары. Плотность жидкости в этом состоянии  $\rho_{\text{ж}}(T) = 1,9\rho_{\text{кр}}$ , где  $\rho_{\text{кр}}$  – критическая плотность эфира. Определить температуру  $T$ , если критическая температура  $T_{\text{кр}} = 467\text{ К}$ . Считать, что и в жидком и в газообразном состояниях эфир описывается моделью Ван-дер-Ваальса.

*Указание:* использовать приведённое уравнение Ван-дер-Ваальса.

**3В.** На замкнутый контур из немагнитной трубки постоянного сечения, в котором может циркулировать ферромагнитная жидкость (ФМЖ), надет соленоид (см. рис.). Вблизи соленоида создан перепад температур, так что с одной его стороны температура ниже точки Кюри (температуры фазового перехода между ферромагнитным и парамагнитным состояниями), а с другой – выше. Область перехода соответствует центру соленоида, где напряжённость поля  $H_0$ . Для измерения давления в циркулирующей жидкости по разные стороны от соленоида установлены манометры М. Разность показаний манометров оказалась равной  $\Delta P = 1,8\text{ атм}$ . Оцените  $H_0$ , если расстояние между манометрами  $l = 20\text{ см}$ , а длина всего контура  $L = 1\text{ м}$ . Восприимчивость ФМЖ в ферромагнитном состоянии считать постоянной:  $\chi = 200$  (ед. СГС). Считать, что магнитное поле в местах установки манометров отсутствует.



**4В.** Тонкая стеклянная плоскопараллельная пластинка в форме диска диаметром  $d = 4\text{ см}$  разрезана на собирающую и рассеивающую линзы (см. рис.) с фокусными расстояниями  $F = \pm 10\text{ см}$  и одинаковыми массами  $m = 10\text{ г}$ . Линзы раздвинули так, что между ними образовался зазор постоянной толщины  $\delta = 1\text{ мм}$ . Система облучается параллельным пучком лазерного излучения интенсивностью  $I = 10\text{ Вт/см}^2$ . Найти величину и знак эффективной силы  $f$  взаимодействия между линзами, возникающей из-за преломления света. За какое время под действием этой силы линзы сместятся друг относительно друга на расстояние  $\delta$ ? На поверхности линз нанесено просветляющее покрытие, потерями в стекле пренебречь.



**5В.** Для  $\alpha$ -распада чётно-чётных ядер период полураспада  $T_{1/2}$  (в секундах) зависит от энергии  $\alpha$ -частицы  $E_\alpha$  (в МэВ) и заряда дочернего ядра  $Z$  по закону Гейгера–Нэттола:  $\lg T_{1/2} = 9,54 \cdot \frac{Z^{0,6}}{\sqrt{E_\alpha}} - 51,37$ . Для  $\alpha$ -распадов ядер тория  ${}^{232}_{90}\text{Th}$  и урана  ${}^{232}_{92}\text{U}$  периоды полураспада составляют  $T_{1/2}^{\text{Th}} = 14,05 \cdot 10^9\text{ лет}$  и  $T_{1/2}^{\text{U}} = 68,9\text{ лет}$ . Рассматривая модель, в которой  $\alpha$ -частица находится в потенциальной яме, созданной сильным и кулоновским взаимодействиями, найти радиус  $R$  этих ядер, считая его одинаковым для обоих ядер. Плотность вероятности нахождения  $\alpha$ -частицы в ядре считать постоянной,  $\alpha$ -частицу -- точечным зарядом.