



## *За день до экзамена...*

В случае полностью правильно написанных 3-х вопросов до беседы по билету – 15 баллов. Оставшиеся очки можно набрать в процессе беседы, ответив на 5 дополнительных вопросов, которые оцениваются в зависимости от сложности в 1, 2, 3, 4, 5 баллов. Вопрос более высокой сложности задаётся после верного ответа на вопрос более низкой сложности.

---

### Теория

1. Элементарная работа. Работа силы на конечном участке кривой: определение и свойства. Связь мощности силы и кинетической энергии тела. Работа центральной силы. Консервативные и неконсервативные силы. Примеры гироскопических и диссипативных сил.
2. Второе начало термодинамики для неравновесных процессов. Неравенство Клаузиуса. Вторая теорема Карно. Третье начало термодинамики. Вырождение идеального газа.

### Задачи (одна на выбор)

3. Вычислите изменение энтропии  $\nu$  молей одноатомного идеального газа при расширении по политропе (показатель политропы  $n$ ) от объёма  $V_1$  до объёма  $V_2$ .

4. Сформулируйте теорему Нётер и на примере частицы, находящейся в однородном поле тяготения продемонстрируйте связь трансляционной инвариантности с законом сохранения импульса.

---

#### Теория

1. Движение точечной частицы относительно НИСО во внешнем поле. Сила Кориолиса, центробежная сила. Энергия частицы в НИСО.
2. Энтропия идеального газа. Теплоемкость. Общее соотношение между  $C_p$  и  $C_v$ . Соотношение Майера.

#### Задачи (одна на выбор)

3. Покажите, что коэффициент теплового расширения  $\alpha \equiv \frac{1}{V} \left( \frac{\partial V}{\partial T} \right)_p$  стремится к нулю при  $T \rightarrow 0$ .
  4. Движущийся со скоростью  $\vec{v}$  электрон попадает в однородное магнитное поле  $\vec{B}$ , перпендикулярное его скорости. Охарактеризуйте траекторию, по которой будет двигаться электрон. Найдите работу силы, действующей на электрон.
- 

#### Теория

1. Тензор инерции тела: определение, примеры, инварианты, связь главных инвариантов с главными моментами инерции. Теорема Гюйгенса-Штейнера.
2. Второе начало термодинамики для квазиравновесных процессов. Цикл Карно. КПД тепловой машины. Первая теорема Карно. Равенство Клаузиуса. Вечный двигатель второго рода.

#### Задачи (одна на выбор)

3. Получите выражение для канонического тензора энергии-импульса свободного электромагнитного поля.
  4. Пользуясь определением скобки Пуассона, найти  $q_j, q_k$  и  $q_j, \pi_{q_k}$ , где  $q_j$  – обобщенная координата механической системы,  $\pi_{q_k}$  – ее обобщенный импульс, канонически сопряженный координате  $q_k$ . Доказать справедливость правила Лейбница для скобки Пуассона.
- 

#### Теория

1. Гармонический осциллятор под действием внешней периодической силы при наличии трения. Переходной и установившийся режимы. Резонанс.
2. Система уравнений Максвелла-Лоренца в вакууме. Работа электрической и магнитной составляющей силы Лоренца. Закон сохранения электрического заряда.

#### Задачи (одна на выбор)

3. Какова интенсивность света в центре дифракционной картины от круглого экрана, если он закрывает всю первую зону Френеля? Интенсивность света в отсутствие экрана равна  $I_0$ .
4. Укажите способ повышения КПД тепловой машины. Покажите, что КПД цикла Карно превышает КПД любого другого цикла, имеющего те же темпе-

ратурные пределы. Выясните, в каком случае КПД цикла Карно возрастет сильнее: при повышении температуры нагревателя на  $\Delta T$  или при понижении температуры холодильника на такую же величину.

---

#### Теория

1. Уравнения Гамильтона. Скобка Пуассона. Алгебра Пуассона. Конфигурационное и фазовое пространства, примеры.
2. Энтропия одноатомного идеального газа: сопоставление термодинамической и статистической (соотношение Сакура-Тетроде) процедуры вывода. Калорическое и термические уравнения состояния. Изоэнтропийный процесс: уравнение Пуассона.

#### Задачи (одна на выбор)

3. Покажите, что свободный электрон не может ни поглотить, ни испустить фотон.
  4. Найдите правила преобразования компонент электрического и магнитного полей при переходе от одной ИСО к другой (относительная скорость направлена вдоль оси  $Y$ ). Какие комбинации электрического и магнитного полей при бусте вдоль  $Y$  не изменяются?
- 

#### Теория

1. Преобразования Лежандра. Гамильтониан механической системы. Уравнения Гамильтона. Фазовое пространство механической системы.
2. Изопрцессы на примере идеального одноатомного газа. Теплоемкость: определение, соотношение между  $C_p$  и  $C_v$  для идеального газа (уравнение Майера). Политропический процесс.

#### Задачи (одна на выбор)

3. Исходя из лагранжиана электромагнитного поля, взаимодействующего с заряженными частицами, получите уравнения Максвелла с источниками.
  4. Опытным путём установлено, что при низких температурах теплоёмкость  $C_p = T^B (b_0 + b_1 p T + b_2 p T^2 + \dots)$ , где  $B \in \mathbb{R}_{>0}$  и  $b_j p$  – некоторые функции давления. Покажите, что при  $T \rightarrow 0$  отношение  $\frac{V\alpha}{C_p} \rightarrow const$ , где  $\alpha \equiv V^{-1} \partial_T V_p$  – коэффициент теплового расширения.
- 

#### Теория

1. Пуассонова структура механики. Скобка Пуассона: определение и свойства. Алгебра Пуассона. Интеграл движения. Теорема Пуассона.
2. Одноатомный идеальный газ: распределение средней энергии по степеням свободы, химический потенциал, уравнение состояния. Дисперсия числа частиц и относительная флуктуация числа частиц.

#### Задачи (одна на выбор)

3. Шарик, подвешенный на нити длиной  $l$ , отклонили на некоторый угол и отпустили. При возвращении шарика в положение равновесия происходит упругий удар шарика о стержень, длина которого составляет  $L > l$ . Какой должна быть длина нити, чтобы шарик остановился после удара? Масса стержня равна массе шарика.

4. Сформулируйте теорему Нётер. На примере двух точечных частиц в одномерном пространстве продемонстрируйте связь трансляционной инвариантности с законом сохранения импульса. Покажите, как из трансляционной инвариантности замкнутой механической системы следует закон сохранения ее импульса.

#### Теория

1. Связь непрерывных симметрий действия механической системы с законами сохранения. Нётеровский заряд. Законы сохранения энергии, импульса, момента импульса.
2. Состояние термодинамического равновесия. Неравновесный и квазиравновесный процессы. Первое начало термодинамики. Внешние и внутренние макропараметры. Термодинамические функции состояния. Циклический процесс. Вечный двигатель первого рода.

#### Задачи (одна на выбор)

3. Найти угловое распределение дифракционных минимумов при дифракции на решетке, период которой равен  $\mathbf{d}$ , а ширина щели равна  $\mathbf{b}$ .
4. Найдите независимые релятивистские инварианты электромагнитного поля. Докажите, что представленный список независимых инвариантов исчерпывающий.

#### Теория

1. Лагранжиан механической системы. Принцип экстремального действия. Уравнения Эйлера-Лагранжа механической системы.
2. Аддитивность энтропии. Система и резервуар в тепловом и диффузионном контакте. Фактор Гиббса. Большая статистическая сумма. Фактор Больцмана. Статистическая сумма. Тепловые средние физических величин.

#### Задачи (одна на выбор)

3. Частица А распадается на две частицы В и С. Массы всех частиц известны. Найдите энергию частиц В и С в системе отсчета, в которой частица А покоилась.
4. Найдите магнитное поле, порождаемое медленно (по сравнению со скоростью света) равномерно движущимся зарядом  $q$ , производя преобразование полей от системы отсчёта, в которой заряд покоится.

#### Теория

1. Кинематика поступательного и вращательного движений. Описание траектории: кривизна, кручение, формулы Френе.
2. Термодинамическое и статистическое описание классических систем. Макросостояния, микросостояния, статистический вес. Две системы в тепловом и диффузионном контакте: условия равновесия. Энтропия, температура, химический потенциал.

#### Задачи (одна на выбор)

3. Рассмотрите задачу о поперечных колебаниях скрипичной струны

$$0 \leq x \leq l$$

$$\frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2}(t, x) = \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2}(t, x) \quad \begin{cases} \phi(t, 0) = 0 \\ \phi(t, l) = 0 \end{cases} \quad \begin{cases} \phi(0, x) = \Phi(x) \\ \dot{\phi}(0, x) = \Psi(x) \end{cases}$$

4. На примере частицы, совершающей плоское движение в центрально симметричном силовом поле, продемонстрируйте связь вращательной симметрии задачи с законом сохранения момента импульса. Убедитесь, что набор преобразований вращения образует группу Ли.

---

#### Теория

1. Бегущая волна. Недеформирующиеся и деформирующиеся волны. Поперечные и продольные волны. Продольные волны в стержнях. Смещение сечения. Скорость смещения сечения. Продольная деформация в точке. Напряжение: давление и натяжение. Закон Гука.

2. Общая схема наблюдения интерференции. Когерентные источники. Временная когерентность электромагнитных волн. Длина когерентности. Связь временной когерентности со степенью монохроматичности. Пространственная когерентность электромагнитных волн. Радиус когерентности. Интерференция в тонких пленках.

#### Задачи (одна на выбор)

3. Рассмотрите идеальный газ. Покажите, что в  $P$ - $V$  координатах адиабата наклонена к оси  $V$  сильнее, чем изотерма.

4. Найдите электрическое и магнитное поля равномерно и прямолинейно движущегося заряда  $q$ , производя преобразование полей от системы отсчёта, в которой заряд покоится.

---

#### Теория

1. Поперечные колебания скрипичной струны: переход от механики системы точечных частиц к классической теории поля, оператор Д'Аламбера, волновое уравнение, граничные условия.

2. Законы геометрической оптики. Электромагнитные волны. Поперечность электромагнитных волн. Интерференция света: определение, общая схема и условия наблюдения интерференции. Интерференция в тонких пленках.

#### Задачи (одна на выбор)

3. Докажите термодинамические соотношения  $\partial_V T_{\sigma N} = - \partial_\sigma P_{VN}$  ;  
 $\partial_T V_{PN} = - \partial_P \sigma_{TN}$ .

4. Выпишите уравнения Эйлера-Лагранжа, описывающие динамику двойного маятника (массы и длины нитей заданы) в поле тяготения.

---

#### Теория

1. Фазовые траектории свободного гармонического осциллятора, гармонического осциллятора в присутствии трения, гармонического осциллятора под действием периодических толчков. Плоский математический и физический маятники.

2. Система уравнений Максвелла в пространстве, свободном от зарядов и токов. Электромагнитные волны. Поперечность электромагнитных волн, релятивистские инварианты электромагнитного поля.

#### Задачи (одна на выбор)

3. Точечный источник монохроматического света помещен на расстоянии  $a$  от круглой диафрагмы, а экран с противоположной стороны – на расстоянии  $b$  от нее. При каких радиусах диафрагмы  $r$  центр дифракционных колец,

наблюдаемых на экране, будет темным и при каких – светлым, если перпендикуляр, опущенный из источника на плоскость диафрагмы, проходит через ее центр?

4. Одноатомный идеальный газ (масса составляющих его частиц  $m$ ) находится в термодинамическом равновесии (температура  $T$ ). Сопоставьте наиболее вероятную величину скорости частиц с их средней скоростью.

---

#### Теория

1. Сопоставление ньютоновой, лагранжевой, гамильтоновой и пуассоновой формулировок механики.
2. Распределение Больцмана. Барометрическая формула. Распределение частиц по скоростям.

#### Задачи (одна на выбор)

3. Найдите уравнение процесса для одноатомного идеального газа, при котором теплоёмкость газа  $C = aT$ ,  $a = const$ .
  4. Объясните возникновение пятна Пуассона-Араго за диском. Почему Вы не видите звезд, расположенных за диском Луны на его фоне?
- 

#### Теория

1. Гармонический осциллятор под действием диссипативной силы. Затухающие колебания. Кинематическое уравнение затухающих колебаний. Условный период, время затухания, декремент колебаний, логарифмический декремент колебаний, добротность. Аперидическое затухание.
2. Сформулируйте полевую версию теоремы Нётер. Получите выражение, определяющее сохраняющийся нётеровский ток. Прокомментируйте её использование на примере канонического тензора энергии-импульса электромагнитного поля.

#### Задачи (одна на выбор)

3. Запишите матрицу, отвечающую преобразованию Лоренца, состоящего из буста вдоль  $x^1$ , вслед за которым производится буст вдоль  $x^2$ . Покажите, что эти бусты, производимые в обратном порядке, порождают другое преобразование Лоренца.
  4. Одноатомный идеальный газ (масса составляющих его частиц  $m$ ) находится в термодинамическом равновесии (температура  $T$ ). Сопоставьте наиболее вероятную величину скорости частиц с их среднеквадратической скоростью.
- 

#### Теория

1. Постулаты частной теории относительности. Общая группа Лоренца  $O(1,3)$  и её подгруппы. Релятивистское правило сложения скоростей. Релятивистские инварианты: рецепт построения, примеры.
2. Полевые уравнения Эйлера-Лагранжа. Действие для электромагнитного поля в присутствии зарядов и токов. Уравнения Максвелла «с источниками».

#### Задачи (одна на выбор)

3. Запишите компоненты тензора инерции кольца, диска, шара в системах координат, оси которых ориентированы по главным осям инерции.
  4. Докажите, что если 4-вектор  $W$  – времениподобен, то ортогональный ему 4-вектор  $\Sigma$  – пространственноподобен.
-

## Теория

1. Консервативная система. Примеры консервативных сил. Потенциальная энергия. Фinitное движение: энергетическая зависимость периода осцилляций частицы в одномерной потенциальной яме, вириальная теорема (формулировка и примеры использования).
2. Тензор Максвелла: определение и свойства. Связь 4-векторного потенциала с полями  $\vec{E}$  и  $\vec{B}$ . Уравнения Максвелла «без источников».

### Задачи (одна на выбор)

3. Найдите изменение энтропии моля одноатомного идеального газа при изохорическом (задана температура в начальном и конечном состояниях), изотермическом (задано давление в начальном и конечном состояниях) и изобарическом процессах (задана температура в начальном и конечном состояниях).
  4. Докажите аналог неравенства Коши-Буняковского для пространства Минковского.
- 

## Теория

1. Потенциальная энергия. Потенциальные кривые: потенциальная яма и потенциальный барьер, точки поворота, фinitное и инфinitное движения. Точки устойчивого и неустойчивого равновесия. Вириальная теорема.
2. Тензор Максвелла: определение и свойства. Преобразование  $\vec{E}$  и  $\vec{B}$  при переходе из одной инерциальной системы отсчета в другую: на примере буста вдоль ОУ и в общей форме. Релятивистские инварианты электромагнитного поля.

### Задачи (одна на выбор)

3. Вычислите изменение энтропии  $\nu$  молей одноатомного идеального газа при расширении по политропе (показатель политропы  $n$ ) от объёма  $V_1$  до объёма  $V_2$ .
  4. Покажите, что симметризованный тензор энергии-импульса электромагнитного поля калибровочно инвариантен; интерпретируйте его компоненты.
- 

## Теория

1. Потенциальная энергия, потенциальные кривые, поверхности уровня. Полная энергия консервативной системы. Потенциальная энергия упругой силы, импульс и энергия гармонического осциллятора. Потенциальная энергия тела в однородном поле тяготения.
2. Калибровочные преобразования. Инвариантность тензора Максвелла относительно калибровочных преобразований. Связь полей  $\vec{E}$  и  $\vec{B}$  с 4-векторным потенциалом  $A^\mu$ . Канонический и симметризованный тензоры энергии-импульса электромагнитного поля.

### Задачи (одна на выбор)

3. Выпишите систему уравнений Эйлера-Лагранжа, описывающих динамику плоского математического маятника, подвешенного на пружине в поле тяготения.

4. Докажите, что замена лагранжиана другим, отличающимся от исходного на полную производную по времени от произвольной функции координат и времени, уравнений движения не меняет.

---

#### Теория

1. Основное уравнение релятивистской динамики. Релятивистский импульс и энергия частицы. 4-вектор энергии-импульса частицы, масса частицы как релятивистский инвариант. Масса системы частиц.
2. Полевые уравнения Эйлера-Лагранжа. Действие для электромагнитного поля в присутствии зарядов и токов. Уравнения Максвелла «с источниками». Закон сохранения электрического заряда.

#### Задачи (одна на выбор)

3. Получите связь между тензором энергии импульса системы заряженных частиц и плотностью 4-силы Лоренца.
  4. Гармонический осциллятор совершает затухающие колебания. Известен логарифмический декремент колебаний. Определите относительную убыль энергии осциллятора за условный период колебаний.
- 

#### Теория

1. Собственное время. Парадокс близнецов. Релятивистское действие для свободной точечной частицы. Релятивистский импульс частицы. Релятивистская энергия частицы. 4-вектор энергии-импульса частицы.
2. Выпишите действие для заряженной частицы в электромагнитном поле. Обсудите следствия его лоренцевой и калибровочной симметрий. Воспользуйтесь принципом экстремального действия, чтобы получить выражение, определяющее 4-силу Лоренца.

#### Задачи (одна на выбор)

3. Исходя из распределения Максвелла, найдите среднее квадрата  $x$ -й компоненты скорости молекул газа и среднюю кинетическую энергию, приходящуюся на одну степень свободы поступательного движения молекулы газа.
  4. Сконструируйте из объёмной плотности энергии электромагнитного поля и вектора Пойнтинга величину, инвариантную относительно преобразований Лоренца.
- 

#### Теория

1. Биения. Бегущая и стоячая волны. Энергия упругой волны. Объёмная плотность кинетической и потенциальной энергии упругой волны. Вектор плотности потока энергии (вектор Умова). Интенсивность волны.
2. Дифракционная решетка. Основная формула. Главные и второстепенные максимумы. Ширина  $m$ -го главного максимума. Спектр  $n$ -го порядка. Угловая дисперсия, критерий Рэлея, разрешающая способность.

#### Задачи (одна на выбор)

3. Убедитесь, что первая теорема Карно эквивалентна равенству Клаузиуса.
4. Две материальные точки (массы  $m_1$  и  $m_2$ ) соединены нерастяжимой безмассовой нитью длины  $l$ , проходящей через отверстие в гладкой горизонтальной плоскости. Механическая система помещена в однородное поле тяготения, напряженность которого направлена вертикально вниз. Выпишите



систему уравнений Эйлера-Лагранжа, описывающую динамику системы. Укажите нетеровские заряды и связанные с ними симметрии.



#### Теория

1. Принцип относительности Галилея и принцип частной теории относительности. Преобразования Галилея и Лоренца. Постулаты частной теории относительности. Общая группа Лоренца  $O_{1,3}$  и её подгруппы. Конус событий. Релятивистское правило сложения скоростей. Быстрота.
2. Законы геометрической оптики. Дифракция света. Принцип Гюйгенса-Френеля. Метод зон Френеля. Классификация дифракционных явлений. Дифракция Фраунгофера на длинной прямоугольной щели: схема наблюдения, влияние ширины щели на дифракционную картину, условия наблюдения дифракции.

#### Задачи (одна на выбор)

3. Покажите, что работа любых центральных сил не зависит от обобщённой траектории системы и определяется лишь начальной и конечной конфигурациями системы. Переформулируйте утверждение в терминах работы по замкнутой траектории и проиллюстрируйте его на материальных точках, взаимодействующих друг с другом по закону всемирного тяготения.
4. Движущийся со скоростью  $\vec{v}$  электрон, попадает в однородные и взаимно перпендикулярные электрическое  $\vec{E}$  и магнитное  $\vec{B}$  поля. Скорость электрона перпендикулярна обоим полям. Найдите траекторию движения электрона.

#### Теория

1. Движение точечной частицы относительно НИСО во внешнем поле. Сила Кориолиса, центробежная сила. Энергия частицы в НИСО.
2. Дифракционная решетка. Основная формула. Главные и второстепенные максимумы. Ширина  $m$ -го главного максимума. Спектр  $n$ -го порядка. Угловая дисперсия, критерий Рэля, разрешающая способность.

#### Задачи (одна на выбор)

3. Получите выражение, определяющее 4-силу Лоренца, исходя из действия для заряженной частицы в электромагнитном поле.
  4. Исходя из калибровочной симметрии, получите закон сохранения электрического заряда.
- 

#### Теория

1. Цуг и монохроматическая волна. Длина волны, волновой вектор, волновое число. Волновая поверхность, фронт волны, фазовая скорость. Кинематические уравнения плоской и сферической монохроматических волн.
2. Локально-инерциальная система отсчета. Пространство Минковского. Скалярное произведение в пространстве Минковского: времениподобный, изотропный (светоподобный), пространственноподобный 4-векторы. Интервал между событиями, группа Лоренца.

#### Задачи (одна на выбор)

3. Докажите вириальную теорему и проиллюстрируйте её на примерах частицы в ньютоновском поле тяготения и гармоническом осцилляторе.
  4. Пусть две независимые системы находились в состоянии термодинамического равновесия каждая и имели одинаковые температуры и различные химические потенциалы. Их привели в тепловой и диффузионный контакт. Покажите, что в процессе установления нового равновесного состояния составной системы, частицы переходят из подсистемы, первоначально имевшей более высокий химический потенциал.
- 

#### Теория

1. Гармонический осциллятор под действием внешней периодической силы при наличии трения. Переходной и установившийся режимы. Резонанс.
2. Сформулируйте полевую версию теоремы Нётер. Получите выражение, определяющее сохраняющийся нётеровский ток. Прокомментируйте её использование на примере канонического тензора энергии-импульса электромагнитного поля.

#### Задачи (одна на выбор)

3. Релятивистская частица с массой  $m_1$  и кинетической энергией  $T$  налетает на покоящуюся частицу массы  $m_2$ . Найдите массу и скорость составной частицы, образовавшейся в результате соударения.
4. Частица массы  $m$  находится в одномерном силовом поле, где её потенциальная энергия имеет вид  $U(x) = \frac{a}{x^2} - \frac{b}{x}$  где  $a, b$  – положительные константы.

Найдите период малых колебаний частицы около положения равновесия.

---

#### Теория

1. Термодинамическое и статистическое описание классических систем. Макросостояния, микросостояния, статистический вес. Две системы в тепловом и диффузионном контакте: условия равновесия. Энтропия, температура, химический потенциал.
2. Принцип экстремального действия. Уравнения Эйлера-Лагранжа для механической системы со счётным числом степеней свободы и полевые уравнения Эйлера Лагранжа. Непрерывные симметрии действия и их следствия.

### Задачи (одна на выбор)

3. Движущийся со скоростью  $\vec{v}$  электрон, попадает в однородные и взаимно перпендикулярные электрическое  $\vec{E}$  и магнитное  $\vec{B}$  поля. Скорость электрона перпендикулярна обоим полям. Найдите траекторию движения электрона.
  4. На пути частично поляризованного света поместили поляризатор. При повороте поляризатора на угол  $\varphi$  из положения, соответствующего максимуму пропускания, интенсивность прошедшего света уменьшилась в  $\zeta$  раз. Найти степень поляризации падающего света.
- 

### Теория

1. Потенциальная энергия. Потенциальные кривые: потенциальная яма и потенциальный барьер, точки поворота, финитное и инфинитное движения, вириальная теорема.
2. Распределение Больцмана. Барометрическая формула. Распределение частиц по скоростям.

### Задачи (одна на выбор)

3. Вычислите показатель адиабаты для газовой смеси, состоящей из  $\nu_1$  моль кислорода и  $\nu_2$  моль углекислого газа. Газы считать идеальными.
  4. Стальная струна длины  $l$  и диаметра  $d$  даёт основной тон частоты  $\nu$ . Найти силу её натяжения.
- 

### Теория

1. Изопроцессы на примере идеального одноатомного газа. Теплоемкость: определение, общее соотношение между  $C_p$  и  $C_v$ , уравнение Майера. Политропический процесс.
2. Система уравнений Максвелла в пространстве, свободном от зарядов и токов. Электромагнитные волны. Поперечность электромагнитных волн, релятивистские инварианты электромагнитного поля.

### Задачи (одна на выбор)

3. Пусть две независимые системы находились в состоянии термодинамического равновесия каждая и имели одинаковые температуры и различные химические потенциалы. Их привели в тепловой и диффузионный контакт. Покажите, что в процессе установления нового равновесного состояния составной системы, частицы переходят из подсистемы, первоначально имевшей более высокий химический потенциал.
  4. Найти угловое распределение дифракционных минимумов при дифракции на решетке, период которой равен  $\mathbf{d}$ , а ширина щели равна  $\mathbf{b}$ .
- 

### Теория

1. Энтропия одноатомного идеального газа: сопоставление термодинамической и статистической (соотношение Сакура-Тетроде) процедуры вывода. Калорическое и термические уравнения состояния. Изоэнтропийный процесс: уравнение Пуассона.
2. Уравнения движения заряженной массивной частицы в электромагнитном поле. 4-сила Лоренца. Калибровочные преобразования. Инвариантность тензора Максвелла относительно калибровочных преобразований.

### Задачи (одна на выбор)

- Докажите, что симметризованный тензор энергии-импульса электромагнитного поля в отсутствие зарядов имеет нулевую 4-дивергенцию  $\partial_\alpha \Theta_{emf}^{\alpha\beta} = 0$ .
- Получите выражения, определяющие связь большой статистической суммы с тепловыми средними энергии и числа частиц системы, находящейся в тепловом и диффузионном контакте с резервуаром.

### Теория

- Третье начало термодинамики и его следствия: утверждение о теплоемкостях, недостижимости абсолютного нуля, величинах  $\partial_T V_p$ ,  $\partial_T p_v$ . Вырождение идеального газа.
- Тензор энергии-импульса системы частиц. Симметризованный тензор энергии-импульса электромагнитного поля и его интерпретация. Теорема Пойнтинга для свободного электромагнитного поля.

### Задачи (одна на выбор)

- Докажите аналог неравенства треугольника для пространства Минковского. Объясните парадокс близнецов.
- Идеальный газ с показателем адиабаты  $\gamma$  расширили по закону  $p = \alpha V$ , где  $\alpha$  - постоянная. Первоначальный объем газа  $V_i$ . В результате расширения объем увеличился в  $\varsigma$  раз. Найдите молярную теплоёмкость газа в этом процессе.

