OBOF

Бразильская Онлайн Олимпиада по Физике

2-й Этап - 26 и 27 октября 2025 г.

Имя: ______________________________

Класс: ______________________________

Сезар Латтес
Открытый Уровень
Русский

Инструкции к Экзамену

I. Этот экзамен состоит из 3 заданий.

II. Максимальная продолжительность экзамена - четыре часа. В дополнение ко времени экзамена будет предоставлено 5 минут для заполнения онлайн-бланка ответов.

III. Экзамен должен выполняться индивидуально, обсуждение решений заданий во время проведения экзамена 26 и 27 октября 2025 г. запрещено.

IV. При необходимости, если не указано иное, используйте: ускорение свободного падения на поверхности Земли $g = 10\,$ì/ñ^2; удельная теплоемкость жидкой воды $c_a = 1\,$êàë/(ã °C); удельная теплота плавления льда $L = 80\,$êàë/ã; 1 êàë $= 4.2\,$Ä_; плотность жидкой воды $\rho = 1.0\,$ã/ñì^3; постоянная Вина $b = 2.898 \times 10^{-3}$ ì · Ê; постоянная Планка $h = 6.63 \times 10^{-34}$ Ä_ · ñ; скорость света $c = 3 \times 10^8$ ì/ñ; энергия водорода в основном состоянии $E_n = -\frac{13.6}{n^2}$ ýÂ; 1 ýÂ $= 1.6 \times 10^{-19}$ Ä_.

Поддержка:

Интересные факты:
Чезаре Мансуэто Джулио Латтес, более известный как Сезар Латтес (Куритиба, 11 июля 1924 — Кампинас, 8 марта 2005), — бразильский физик, один из первооткрывателей пи-мезона (пиона). Это открытие привело к присуждению Нобелевской премии по физике 1950 года Сесилу Фрэнку Пауэллу, руководителю исследования. Латтес — один из самых выдающихся физиков Бразилии, и его работа имела фундаментальное значение для развития атомной физики в стране. Он также был великим лидером в бразильском научном сообществе и одной из ключевых фигур, ответственных за создание Национального совета по научному и технологическому развитию (CNPq).

Задание 1: Тепловой Щит - 10 баллов[1]

Будущая миссия на Марс планирует использовать новый двигатель, топливо которого должно поддерживаться при чрезвычайно низкой температуре, ниже его критической температуры кипения, T_c. Чтобы предотвратить испарение топлива, сферический бак, в котором оно хранится, окружен теплоизоляционной системой, состоящей из N тонких концентрических сферических экранов, разделенных вакуумом. Для упрощения анализа предположим, что площади всех экранов и бака примерно одинаковы и равны A. Самый внешний экран подвергается постоянному потоку солнечной энергии F_0.
Сам бак выделяет небольшое количество тепла, P_{int}, из-за работы оборудования мониторинга. Общая тепловая нагрузка (тепло извне плюс внутреннее тепловыделение) отводится активным криоохладителем, имеющим максимальную холодильную мощность $P_{\max}$. Конструкция изоляции должна быть достаточно эффективной, чтобы общая тепловая нагрузка не превышала эту мощность. Для всего анализа считайте систему находящейся в тепловом равновесии, температуру глубокого космоса равной нулю, а постоянную Стефана-Больцмана — σ.

Часть A: Идеальная Модель (Черные Тела) - 4 балла

В этой части, в качестве первого приближения, мы будем моделировать систему так, как если бы все поверхности (бак и N экранов) были идеально черными телами, с коэффициентами излучения и поглощения, равными 1.

(a) 0.6 балла В состоянии равновесия через каждый вакуумный слой проходит постоянный чистый поток тепла, Q_{net}. Напишите выражение для этого потока между экраном i (при температуре T_i) и соседним экраном $i+1$ (при температуре T_{i+1}).

(b) 1.4 балла Покажите, что соотношение между температурой первого экрана (T_1) и бака (T_{tanque}) можно записать как функцию N и Q_{net}.

(c) 2 балла Используйте энергетический баланс на первом экране (внешнее граничное условие) и ограничение по тепловой нагрузке на баке (внутреннее граничное условие), чтобы найти выражение для минимального количества экранов, N_{ideal}, необходимого для поддержания бака при $T_{\text{tanque}} \leq T_c$.

Часть B: Реалистичная Модель (Серые Поверхности) - 6 баллов

В действительности, материалы, используемые для изоляции, обладают высокой отражательной способностью. Теперь рассмотрим, что все поверхности имеют постоянный коэффициент излучения ϵ, значительно меньший 1.

[1] Автор: Лукас Праса

(d) 3 балла Сначала выведите выражение для чистого потока энергии в единицу времени между двумя большими параллельными поверхностями с одинаковой площадью A и коэффициентом излучения ϵ, поддерживаемыми при температурах T_1 и T_2.

(e) 2 балла Используя результат предыдущего пункта, найдите новое выражение для минимального количества экранов, N_{real}, в зависимости от ϵ и других переменных задачи.

(f) 1 балл Сравните ваши выражения для N_{real} и N_{ideal}. При значении $\epsilon \ll 1$, какое из двух чисел экранов больше? Обоснуйте физически, почему использование материалов с низкой излучательной способностью является таким важным фактором при проектировании теплоизоляции в космических миссиях.

Задание 2: Оптика Кофе - 10 баллов[2]

Когда чашка кофе освещается лампой или солнечным светом, на поверхности жидкости или на дне чашки часто можно заметить яркие изогнутые формы. Эти формы, известные как каустики, возникают в результате отражения или преломления световых лучей, которые концентрируются в определенных областях пространства. Это потрясающий повседневный пример того, как геометрия изогнутой поверхности может концентрировать свет, образуя узоры, которые одновременно эстетически ярки и физически значимы. Изучение каустик включает в себя понятия геометрической оптики, такие как закон отражения, и связано с классическими проблемами, которые также возникают в сложных оптических и астрономических системах.

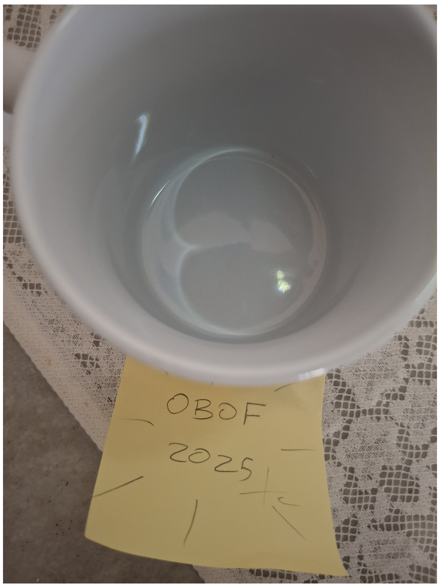

Рис. 1: Каустический узор в кофейной чашке.

(A) 6 баллов Пусть C — небольшое выпуклое зеркало с фокусным расстоянием f, а Γ — окружность диаметром d_1, касающаяся C. Предположим, что P — точечный источник света, расположенный на Γ. Покажите, что геометрическое место всех изображений P — это другая окружность Ω, касающаяся C, с диаметром d_2, удовлетворяющим соотношению

$$\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} = \frac{1}{f}.$$

[2]Автор: Пауло Винисиус

(B) 4 балла Пусть P — фиксированный точечный источник света, а Γ — круглое зеркало радиусом R. Покажите, что

- если $P \in \Gamma$, каустика является кардиоидой;
- если P находится в бесконечности, каустика — это половина нефроиды.

В обоих случаях эти кривые могут быть образованы как путь, описываемый точкой на окружности круга, катящегося без скольжения по другому фиксированному кругу другого радиуса. Определите радиусы этих кругов, нарисуйте эскизы кривых и объясните, почему эта конструкция с катящимися кругами не применяется в общем случае.

Задание 3: Волны на Струне - 10 баллов[3]

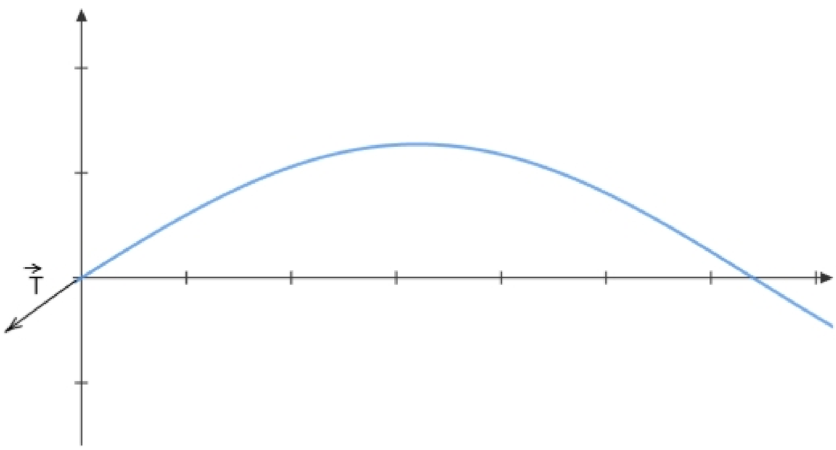

Рис. 2: Начальная конфигурация струны под натяжением $\vec{T}$.

На рисунке выше у нас есть струна с линейной плотностью массы ρ, которую заставляют колебаться с помощью натяжения T. Эта сила будет распространять энергию по струне, которая будет проявлять интересные характеристики. Наше намерение — начать с простого случая и прийти к лучшему пониманию волн в целом.

Часть A: Волновое Уравнение - 3 балла

(a) 2 балла Составьте дифференциальное уравнение движения для системы.

(b) 1 балл Разделите уравнение на пространственную и временную части [Подсказка: Функцию $f(x;t)$ можно записать как: $\xi(x)\varphi(t)$].

Часть B: Энергия и Мощность - 4 балла

В качестве решения будем использовать:

$$y(x;t) = \mathrm{Re}[Ae^{i(kx-\omega t)}] = A\cos\left(kx - \omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$
$$y(0;0) = 0 \quad v(0;0) = A\omega$$

(c) 2 балла Вычислите среднюю мощность энергии, передаваемой струне.

[3]Автор: Ивенс Амарал

(d) 2 балла Выразите формулы (в интегральной форме) для полной кинетической и потенциальной энергии системы.

Часть C: Принцип Наименьшего Действия - 3 балла

В физике есть величина, которая полезна от общей теории относительности до квантовой механики, и имя ей — действие, которое определяется как:

$$S = \int L(y; \dot{y}; t)dt; \quad L = T - V$$

Однако, когда у нас есть системы, которые, в отличие от частиц, распределены в пространстве, как струны, мы должны использовать $\mathcal{L}$, которая определяется как плотность L. Таким образом, у нас есть новое выражение:

$$S = \int \mathcal{L}(y; \frac{\partial y}{\partial t}; \frac{\partial y}{\partial x}; x; t)dxdt$$

Общеизвестно, что природа эволюционирует, стремясь к наиболее стабильным ситуациям, то есть к ситуациям с наименьшим действием. Давайте тогда минимизируем действие. Учитывая деформацию $y' = y + \epsilon\alpha(x)\beta(t)$, с $\alpha(x_1) = \alpha(x_2) = \beta(t_1) = \beta(t_2) = 0$, и минимизируя действие интегрированием по частям, мы приходим к следующему уравнению (Уравнение Эйлера-Лагранжа):

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial y} - \frac{\partial(\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial y})}{\partial t} - \frac{\partial(\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial y'})}{\partial x} = 0$$

(e) 3 балла Используя результаты пункта (d) и приведенную выше формулу, составьте уравнение движения для системы и сравните его с уравнением из пункта (a).