

Олимпиада «Физтех.Инженер» по физике

10 класс, 2025/26 год, онлайн-этап I, вариант 1

И. И. Кравченко

Физические олимпиады Physway

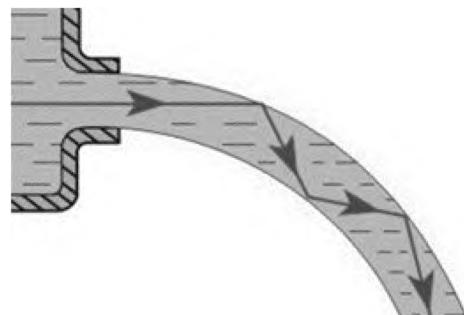
1. [Перегрузка] При раскрытии парашюта человек подвергается действию инерционных сил, вызывающих перегрузку. В среднем за время раскрытия она равна $n = 4$ (перегрузка n измеряется в единицах, кратных ускорению свободного падения g вблизи поверхности Земли, и равна отношению силы инерции в данный момент к величине силы тяжести тела; направление перегрузки задается направлением вектора силы инерции тела). При совершении прыжка самолет Ан-2 летел горизонтально со скоростью $V = 144$ км/ч. Парашют начал раскрываться после прыжка с задержкой $t = 3$ с. За время задержки, пока парашют еще не начал раскрываться, действием силы сопротивления воздуха на парашютиста пренебречь. Считать, что сразу после раскрытия парашюта перегрузка исчезла. Скорость безопасного приземления на парашюте составляет $U = 5$ м/с. Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с².

Оценить:

- время раскрытия парашюта (в секундах, точность 10%);
- угол действия осредненной за время раскрытия парашюта перегрузки относительно вертикали (без учета знака, в градусах, с точностью до сотых).

1) 1,25 ($\pm 10\%$); 2) 53° ($\pm 5\%$)

2. [Струя] В лазерных технологиях по обработке материалов канал излучения иногда совмещают со струей охлаждающей жидкости. Пусть прозрачная жидкость вытекает горизонтально со скоростью $v_0 = 5$ см/с из насадка с внутренним диаметром $d = 0,1$ мм. При этом в струю из резервуара с жидкостью вдоль оси насадка подают лазерные импульсы, 10% процентов энергии которых тратится через ее боковые стенки. Известно, что оптоволокно из материала с таким же коэффициентом преломления, как у жидкости, начинает терять излучение через боковые стенки при уменьшении радиуса загиба до $R = 300$ мкм и меньше. Пусть угол наклона к горизонту участка струи α соответствует границе между светящейся и несветящейся областями (при наблюдении извне, сбоку от струи).

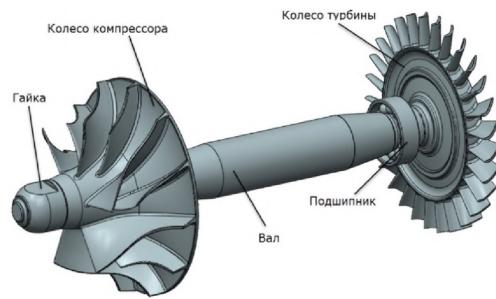


Найти отношение интенсивности лазерного излучения J_1 внутри струи при угле α к интенсивности излучения в насадке J_0 . Под интенсивностью понимать мощность излучения внутри струи, приходящуюся на единицу площади соответствующего поперечного сечения струи ($\text{Вт}/\text{см}^2$). Струю считать сплошной и с ровными краями. Сопротивлением воздуха и поглощением излучения в жидкости пренебречь. Ускорение свободного падения принять за $g = 10 \text{ м}/\text{с}^2$. Отношение J_1/J_0 дать с точностью до сотых.

0,96 ($\pm 1\%$)

3. [Биения] Одна из часто встречающихся технических проблем в процессе сборки турбореактивного двигателя — дисбаланс ротора, который приводит к увеличению вибрации и изменению режима работы двигателя, что, в конечном итоге, ускоряет процесс износа деталей.

Основная часть турбины, ротор, состоит из вала и рабочего колеса, на котором укреплены лопатки. Ротор преобразует тепловую энергию газового потока в механическую работу, создающую тягу турбореактивного двигателя. На рисунке, по причине простоты конструкции и актуальности для БПЛА, показан ротор малоразмерного газотурбинного двигателя, который содержит всего одно колесо компрессора и одно колесо турбины. Несмотря на малые вес и размеры ротора, силовые нагрузки из-за его биений существенны, т. к. частота его вращения высока — 42 000 оборотов в минуту.



Дисбаланс ротора турбины возникает, когда не совпадают центр его массы и ось вращения. Причиной могут быть ошибки при изготовлении или материал разной плотности. Возможно минимизировать начальный дисбаланс ротора с помощью сортировки лопаток, а остаточный дисбаланс устраниТЬ балансировкой. Перед сборкой турбины лопатки сортируют по мере уменьшения их статической неуравновешенности.

Статическая неуравновешенность определяется произведением массы лопатки на координату ее центра масс (см. таблицу 1). Соседние лопатки (в ряду их убывания по степени неуравновешенности) объединяют в пары. Каждую такую пару лопаток располагают на рабочем колесе диаметрально противоположно друг другу. Следующий этап (балансировка) — оптимальное размещение на рабочем колесе пар лопаток друг относительно друга. Так, в два этапа, добиваются минимального смещения центра масс ротора относительно его оси вращения.

1. Разбить на пары лопатки из таблицы 1 (см. описание выше). Вычислить $X_{i,j}$ — модуль смещения центра масс ротора относительно оси его вращения (в мм) под влиянием каждой пары лопаток из полученного разбиения по отдельности и выбрать максимальный —

$$\max X_{i,j} \quad (i, j = 1, 2, \dots, 10).$$

Масса ротора вместе со всеми лопатками $M = 5 \text{ кг}$. Указать числовое значение $\max X_{i,j}$ в микронах с точностью до десятых.

2. Найти максимальную силу F , действующую на подшипники при биениях ротора только от одной найденной ранее в п. 1 пары лопаток (i, j) с $\max X_{i,j}$. Вес ротора не учитывать. Ответ дать в ньютонах с точностью до целых.

В обоих пунктах считать, что кроме лопаток турбинного колеса все остальные части ротора идеально сбалансированы. Сила F может оказаться достаточно существенной, но она уменьшается на порядки при выполнении второго этапа (балансировки ротора) — подбора оптимального расположения пар лопаток на рабочем колесе.

Таблица 1

№ лопатки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Масса (г)	100	100	99	100	100	101	100	99,5	100	100,5	100	100	101	99	100	100	100	100	99,5	100,5
Смещение центра масс лопатки отн. оси вала (мм)	30	31	29	30	30,5	30	29,5	30	30	31	30	29	30	30	29	29	31	30	30,5	29,5

1) 10,0 ($\pm 5\%$); 2) 966 ($\pm 10\%$)

- 4. [Катапульта]** Беспилотному летательному аппарату (БПЛА) самолетного типа начальная скорость может быть сообщена с помощью пневматической катапульты. В процессе запуска БПЛА ускоряется движущимся внутри полого цилиндра поршнем, который толкает сжатый воздух. Вначале, когда БПЛА неподвижен, под закрепленным поршнем в небольшом объеме находится сжатый сухой воздух под давлением 25 атм. Внутренний диаметр цилиндра равен $D = 5$ см. Поршень находится на расстоянии $L = 20$ см от дна. Молярная масса сухого воздуха 29 г/моль.



- Найти механическое напряжение σ , которое возникает в боковых стенах полого цилиндра (давление, действующее в материале стенок поперек направляющей цилиндра, касательно к боковой его поверхности, перпендикулярно толщине стенок $d = 2$ мм). Ответ дать в МПа, с точностью до целых.
- Найти плотность воздуха в цилиндре непосредственно сразу после закачивания воздуха насосом за $N = 70$ циклов его работы. На каждом цикле: камера насоса объемом $\Delta V = 10$ см³ наполнялась воздухом из атмосферы; температура воздуха в камере достигала 27 °C, затем происходило сокращение объема камеры до нуля и перемещение воздуха из камеры насоса в цилиндр. Стенки насоса и цилиндра теплонепроницаемые. Ответ дать в кг/м³, округляя до десятых.

1) 30 ($\pm 10\%$); 2) 3,2 ($\pm 34\%$)

5. [Спутник] . . . Двигается спутник по круговой орбите на высоте $H = 300$ км над Землей. На этой высоте еще чувствуется слабое влияние атмосферы (а точнее, термосфера): давление составляет $p = 0,1$ нПа, температура $T = 1500$ К, молярная масса $M = 16$ г/моль (это, в основном, атомарный кислород). У спутника есть солнечные батареи площадью $S = 10$ м², механизм их ориентации сломался, поэтому они все время развернуты перпендикулярно направлению движения.

Найти работу спутника против сил трения о верхние разреженные слои атмосферы за один виток (в джоулях, с точностью до десятых). Атомы верхних слоев атмосферы взаимодействуют, в основном, с солнечными панелями, причем абсолютно упруго. Радиус Земли $R = 6400$ км. На поверхности Земли $g = 10$ м/с².

6,6 ($\pm 50\%$)