

Определение коэффициента внутреннего трения воздуха методом вращающегося диска.

Вывод формулы.

Диск большого диаметра установлен так, что его можно вращать с постоянной скоростью вокруг вертикальной оси, проходящей через его центр тяжести и перпендикулярной к его плоскости. Над этим диском подвешен на тонкой проволоке Другой диск таким образом, чтобы его плоскость была параллельна плоскости первого диска и проволока совпадала бы с осью последнего.

Если нижнему сообщить вращательное движение, то это движение передается воздуху, а вследствие этого сообщается вращательное движение и верхнему диску. В результате верхний диск поворачивается на некоторый угол, и этот угол может быть определен из выражения условия равновесия, а именно из того, что при равновесии момент вращения τ раскручивающий проволоку, равняется моменту вращения, производимому движением воздуха. Если угол, на который повернулся верхний диск обозначить через θ , и через τ_0 момент вращения, соответствующий углу кручения проволоки, равному единице (1 радиан), то

$$\tau = \tau_0 \theta$$

Положим, что нижний диск вращается со скоростью ω , тогда какая нибуть точка на нем, находящаяся-

ся на расстояние r от оси вращения, движется с линейной скоростью $r\omega$, и с такой же скоростью движется воздух, непосредственно соприкасающийся с диском в этой точке.

Верхний диск и воздух, находящийся в соприкосновении с ним, неподвижны. Таким образом на расстоянии r от оси вращения скорость воздуха меняется от $r\omega$ у поверхности нижнего диска до нуля у поверхности верхнего диска, отсюда градиент скорости равен $\frac{r\omega}{d}$, если расстояние между дисками равно d . Следовательно, тангенсальная сила, действующая на небольшую площадку a , среднее расстояние которой от оси r , равна

$$\eta a \frac{r\omega}{d}$$

, а соответствующий вращательный момент воздуха равен

$$\eta a \frac{r^2\omega}{d}$$

Разделим поверхность верхнего диска на концентрические кольцевые зоны при помощи окружностей, радиусы которых равны $r_0, r_1, r_2, \dots, r_n$. Тогда площадь зоны, лежащей между окружностями радиусов r и r_0 равна $\pi(r_1^2 - r_0^2)$ и для такой зоны значение r^2 можно положить равным

$$\frac{r_1^2 + r_0^2}{2}$$

так, что вращательный вокруг оси момент, вызываемый вязкостью воздуха данной зоны, равен

$$\frac{\eta\omega}{d}\pi(r_1^2 - r_0^2)\frac{r_1^2 + r_0^2}{2} = \frac{\eta\omega\pi}{2d}(r_1^4 - r_0^4)$$

Вращательные моменты возникающие в других зонах выражаются таким же образом. Сумма вращательных моментов, действующих на все зоны, равна

$$\frac{\eta\omega\pi}{2d}(r_1^4 - r_0^4) + (R_2^4 - r_1^4) + \dots + (r_n^4 - r_{n-1}^4) = \frac{\eta\omega\pi}{2d}(r_n^4 - r_0^4)$$

Пусть $r_n = R$ радиус верхнего диска, и $r_0 = 0$, тогда $\tau = \frac{\eta\omega\pi R^4}{2d}$ вращательный момент или $\eta = \frac{2d\tau}{\omega\pi R^4}$ где η - коэффициент внутреннего трения. Заменяя τ_0 через $\tau_0\theta$ окончательно получаем $\eta = \frac{2d\tau_0\theta}{\omega\pi R^4}$. Если известны τ_0 , R , d можно таким образом определить η , R , d можно измерить непосредственно. Для определения τ_0 , надо сделать добавочные выводы. Известно, что период тела, совершающего крутильные колебания, вычисляется по формуле

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{K}{\tau_0}}$$

Отсюда

$$\tau_0 = \frac{4\pi^2 K}{T^2}$$

Следовательно, для определения τ_0 надо знать K - момент инерции тела. Так как момент инерции верхнего диска не может быть измерен непосредственно по формуле, то следует определить период колебание верхнего диска отдельно, а затем с добавочным телом, момент инерции которого можно вычислить по формуле (в нашем случае употребляется или массивный цилиндр или кольцо).

Тогда период колебаний диска без добавочной на-

Лабораторная работа №83

грузки:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{K}{\tau_0}}$$

Период колебаний диска с добавочным грузом:

$$T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{K + K_0}{\tau_0}}$$

где K_0 - момент инерции добавочного груза.

Отсюда

$$K = K_0 \frac{T^2}{T_1^2 - T^2}$$

и окончательно

$$\tau_0 = \frac{4\pi^2 K_0}{T_1^2 - T^2}$$

Момент инерции цилиндра вычисляется по формуле:

$$K_0 = \frac{1}{8}mD^2$$

где m - масса цилиндра и D - диаметр. Момент инерции кольца (Добавочного груза)

$$K_0 = m \frac{K_1^2 + K_2^2}{2}$$

где m - масса кольца, R_1 и R_2 внешний и внутренний радиусы. Таким образом для определения коэффициента вязкости воздуха необходимы следующие формулы:

$$\eta = \frac{2d\tau_0\theta}{\pi\omega R^4} = \frac{d\tau_0\theta}{\pi^2\omega R^4} \quad (1)$$

$$\tau_0 = \frac{4\pi^2 K_0}{T_1^2 - T^2} \quad (2)$$

$$K_0 = \frac{1}{8}mD^2 \quad (3)$$

если берется цилиндр.

где

η - коэффициент вязкости воздуха,

τ_0 - момент силы на единицу дуги (в радианах).

d - расстояние между дисками.

θ - отклонение верхнего диска от положения равновесия (радиан)

n - число оборотов в одну секунду нижнего диска.

R - радиус верхнего диска.

K_0 - момент инерции цилиндра.

T - период колебаний верхнего диска.

T_1 - период колебаний верхнего диска вместе с цилиндром.

m - масса цилиндра.

D - диаметр цилиндра. Следует формула (2) и (3) подставлять в формулу (1) и выражение для относительной погрешности написать для полной формулы.

Описание прибора.

На кронштейне, вделанном в стену, укреплено особая рамка, на которой подвешена проволока. Рамка может передвигаться при помощи винтов в двух взаимно перпендикулярных направлениях. К проволоке прикреплен диск при помощи особого подвеса. Кронштейн имеет около стены винт, слегка опускающий или подымающий кронштейн.

Диск окружен широким кольцом, которое расположено очень близко от диска, на кольце нанесены деления. К массивному диску прикреплен легкий алюминиевый диск, края которого расположены под кольцом. Алюминиевый диск добавлен, чтобы избежать засасывания воздуха при вращении. Снизу на небольшом расстоянии от верхнего диска находится второй массивный диск, укрепленный на валу мотора. Скорость мотора может изменяться при помощи реостатов. Реостаты прикреплены сбоку не кронштейне. Там же имеется выключатель для счетчика, при помощи которого отсчитывают число оборотов мотора и диска.

Порядок работы.

Прежде всего необходимо проверить правильность установки верхнего диска (просвет между диском и плоским кольцом должен быть одинаков) если этого нет, то при помощи винтов в верхней пластинке устанавливаем диск. Осторожно поднимаем винт в верхнем кронштейне и устанавливаем желаемое расстояние между обоими дисками (не более 3 мм). Осторожно приведя верхний диск в колебание, находим период колебаний несколько раз и берем среднее. Нагружаем верхний диск добавочным грузом (массивный плоский цилиндр) и снова определяем период колебаний. Осторожно приведя верхний диск в колебание, находим период колебаний несколько раз и берем среднее. Нагружаем верхний диск добавочным грузом (массивный плоский цилиндр) и снова определяем период колебаний.

Включаем мотор и приводим нижний диск во вра-

щение. Верхний диск медленно выходит из положения равновесия, приходит в колебание и постепенно останавливается. Замечают положение равновесия, предварительно отмечая начальное положение диска до вращения. Разность показаний даст угол поворота. Если диск устанавливается очень медленно, то находят положение отклонения из средних отклонений.

Включают счетчик оборотов и находят время одного оборота. Изменяют скорость мотора и снова проделывают то же самое. Следует помнить, что счетчик следует включать только на время определения скорости вращения мотора, после определения скорости счетчик надо выключить.

Измеряют расстояние между дисками таким образом: в верхнем диске имеется отверстие, в которое устанавливают щуп штангенциркуля, записывают показания, затем измеряют показания верхнего диска (массивного или алюминиевого) вычитают из первого показания. Измерения проводят несколько раз и берут среднее. Измеряют несколько раз радиус верхнего диска (можно охранного кольца), радиус плоского цилиндра и его массу и приступают к вычислениям.

Примечание: верхний диск надо приводить в колебание очень осторожно, чтобы не получить колебания в вертикальной плоскости. Скорость мотора не должна быть больше 1,5-2 оборотов в секунду.

Определение числа оборотов надо делать несколько раз, в начале опыта, в середине и в конце и взять среднее (мотор работает не совсем равномерно). Нулевое положение можно определить два раза в начале

Лабораторная работа №83

опыта и в конце и взять среднее.

Массивный плоский цилиндр надо накладывать осторожно, постепенно передвигая его так, чтобы просвет между диском и охранным кольцом был бы одинаков по всем направлениям.

Необходимо записать в отчет атмосферное давление, температуру и относительную влажность. О работе с психрометром посмотреть "Руководство к практическим занятиям по физике" Г.Н. Богдановский и Е.П. Субботиной часть 1.