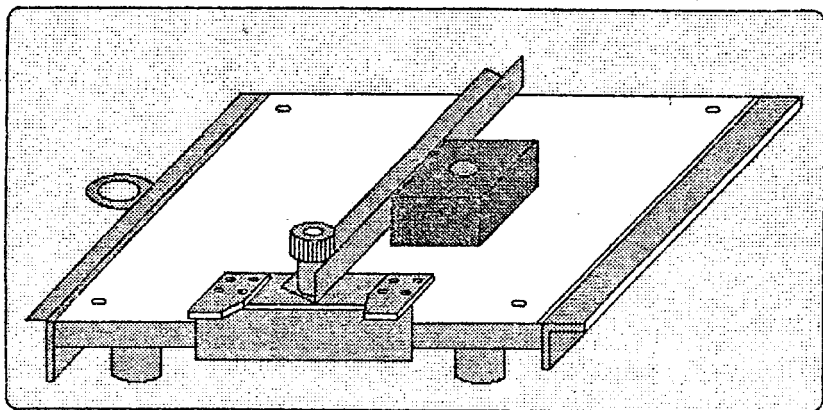




Лабораторный практикум
по ФИЗИКЕ

М Е Х А Н И К А

Определение коэффициентов сил
сухого трения



Лабораторная работа 173

Определение коэффициентов сил сухого трения

Целью работы является экспериментальное определение коэффициентов сил сухого трения. При теоретической подготовке к выполнению работы кроме особенностей сил сухого трения следует изучить особенности сил трения качения и сил вязкого трения.

В работе определяются величины коэффициентов сил сухого трения, действующих между вертикальной поверхностью линейки рейшины А и поверхностями брусков В, изготовленных из различных материалов (см.рис.1). Рейшина может перемещаться поступательно вдоль горизонтального столика С. Угол между линейкой рейшины и ребром ММ' столика С можно измерять в необходимых для проведения эксперимента пределах.

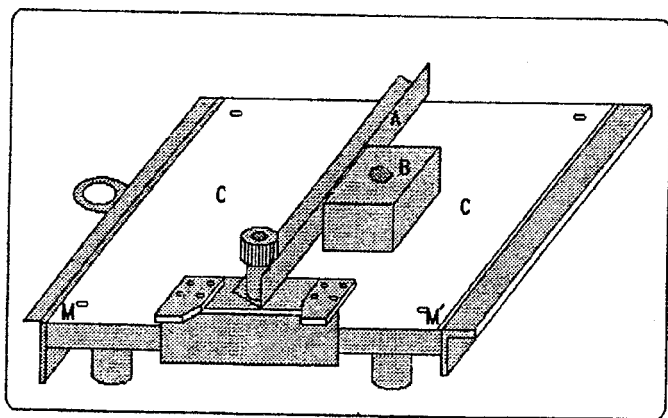


Рис. 1

На горизонтальной поверхности столика С с помощью специальных зажимов закрепляют лист чистой писчей бумаги

для того, чтобы в дальнейшем на нем можно было отмечать перемещения бруска В относительно столика и линейки рейсшины. Рейсшину А устанавливают на столике С, максимально сдвинув влево. Вплотную к линейке рейсшины, как показано на рис.1, на столик кладут один из брусков В. Прижимая упор рейсшины к столику С, передвигают рейсшину вдоль столика слева направо так, чтобы брусок В равномерно двигался по бумаге, подталкиваемый линейкой. При этом, в зависимости от угла между линейкой рейсшины и ребром MM' столика брусок может перемещаться по бумаге как параллельно ребру MM' , оставаясь неподвижным относительно рейсшины, так и смещаться относительно ребра MM' , скользя вдоль линейки рейсшины.

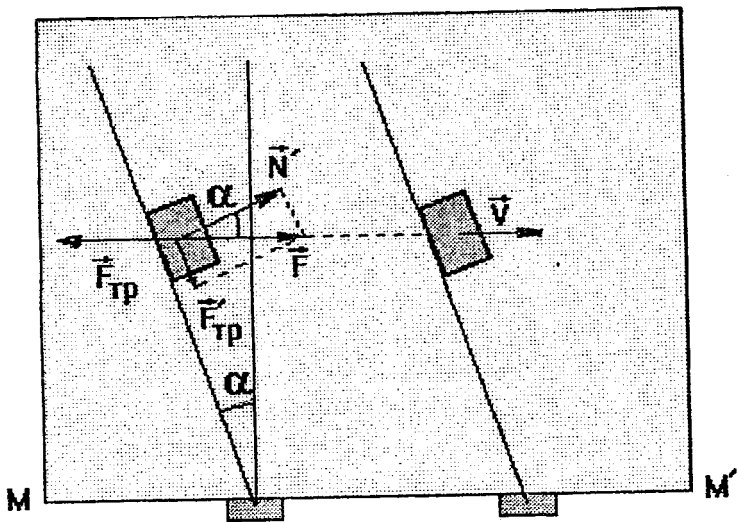


Рис. 2

1. Рассмотрим случай, когда брусок движется по бумаге параллельно ребру MM' (рис.2). Для этого угол α между ли-

нейкой и нормалью к ребру MM' должен быть достаточно малым.

На рис.2 изображены силы, действующие на брусок в горизонтальной плоскости, когда брусок движется с постоянной скоростью \vec{v} параллельно ребру MM' столика. Сила \vec{F} - сила, действующая со стороны линейки на брусок, сила \vec{F}'_{TP} - сила трения скольжения - между бумагой и бруском (она направлена против скорости \vec{v}). Так как брусок перемещают равномерно, то сила \vec{F} должна быть равна по величине и противоположно направлена силе \vec{F}'_{TP} , то есть совпадать по направлению со скоростью бруска \vec{v} . Сила \vec{F} является результирующей двух сил, действующих на брусок со стороны линейки, - силы нормального давления \vec{N}' и силы трения покоя \vec{F}'_{TP} между поверхностями линейки и бруска. Силу \vec{F}'_{TP} можно еще называть силой трения сцепления между поверхностями линейки и бруска. Термин «сцепление» хорошо подчеркивает физическую сущность этой силы, препятствующей скольжению бруска вдоль линейки. Отметим, что величина $F'_{TP} \leq kN'$, так как сила F'_{TP} является силой трения покоя. Соотношение между величинами F'_{TP} и N' зависит лишь от угла α . Действительно, $F'_{TP} = F \sin \alpha$, $N' = F \cos \alpha$. Величина силы F не зависит от угла α ($F = F_{TP} = \text{Const}$). Напомним, что F_{TP} - это сила трения скольжения между бумагой и бруском. Таким образом, $\frac{F'_{TP}}{N'} = \text{tg} \alpha$. При увеличении угла α сила F'_{TP} возрастает, а сила N' уменьшается. При некотором $\alpha = \alpha_0$ сила трения достигает своего максимального значения $(F'_{TP})_{\text{MAX}} = kN'$. Дальнейшее увеличение угла α приведет к тому, что F'_{TP} не сможет препятствовать проскальзыванию бруска относительно линейки. При движении по бумаге брусок будет скользить вдоль линейки.

Если экспериментально определить величину угла α_0 , при котором возникает проскальзывание бруска вдоль линейки, то можно вычислить коэффициент силы сухого трения между поверхностями бруска и линейки, так как

$$\operatorname{tg} \alpha_0 = \frac{(F'_{TP})_{MAX}}{N'} = \frac{kN'}{N'} = k.$$

Следует отметить, что изменение массы бруска В не изменяет направления силы \vec{F}_{TP} , изменяя лишь ее величину, и поэтому не сказывается на результатах эксперимента.

II. Рассмотрим случай, когда брусок движется по бумаге с постоянной скоростью и при этом смещается относительно ребра столика, скользя вдоль линейки рейшины (рис.3.) При

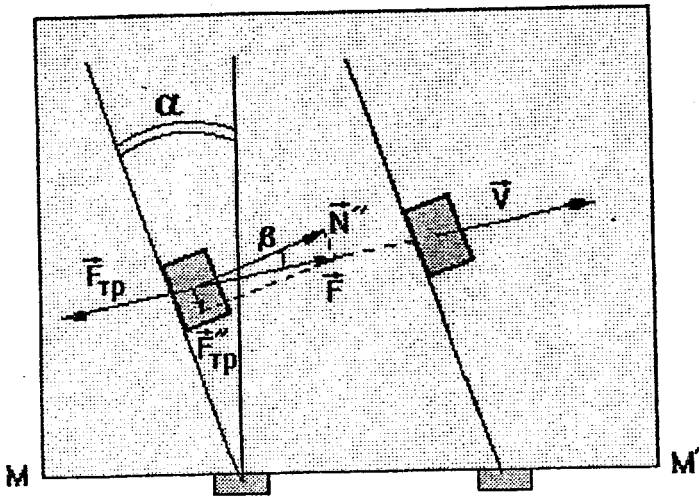


Рис. 3

этом угол α должен превышать значение α_0 .

На рис.3 изображены силы, действующие на брусок в горизонтальной плоскости, когда он движется по бумаге с по-

стоянной скоростью \vec{v} и при этом скользит вдоль линейки рейсшины. Сила \vec{F} - сила, действующая на брусок со стороны линейки, \vec{F}_{TP} - сила трения скольжения между бумагой и бруском (она направлена против скорости \vec{v}). Так как брусок движется равномерно, то сила \vec{F} равна по величине и противоположна по направлению силе \vec{F}_{TP} , то есть совпадает по направлению со скоростью бруска \vec{v} . Сила \vec{F} является результирующей двух сил, действующих на брусок со стороны линейки, - силы нормального давления \vec{N}'' и силы трения скольжения \vec{F}_{TP}'' между линейкой и бруском. При этом $F_{TP}'' = kN''$, где k - коэффициент силы сухого трения между поверхностями линейки и бруска. Измеряя экспериментально угол β (см. рис. 3) между перемещением бруска по бумаге, совпадающим по направлению со скоростью \vec{v} , и нормалью к поверхности линейки, можно определить величину коэффициента k . Действительно,

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{F_{TP}''}{N''} = \frac{kN''}{N''} = k.$$

При изменении угла α угол β в этом случае изменяться не должен, оставаясь равным α_0 ($\operatorname{tg} \beta = k = \operatorname{tg} \alpha_0$). Не изменяется угол β и при изменении массы бруска B (как и в случае 1), так как это приводит лишь к изменению величины \vec{F}_{TP} , но не изменяет ее направления.

Упражнение 1. В первом упражнении следует определить коэффициенты сухого трения между поверхностью линейки и поверхностями брусков B , сделанных из различных материалов, определяя угол α_0 , при котором происходит переход от движения бруска по бумаге без скольжения вдоль линейки рейсшины A к движению с проскальзыванием вдоль линейки.

На столике C закрепляют лист чистой бумаги. На бумаге проводят прямую линию, параллельную ребру MM' столика (см. рис.2). Сдвигают рейсшину по столику влево. Вплотную к

линейке на бумагу кладут один из брусков В, как показано на рис.1. Угол α между линейкой и нормалью к ребру MM' вначале должен быть достаточно мал, чтобы при равномерном перемещении рейсшины вдоль столика вправо брусок В двигался по бумаге с постоянной скоростью параллельно ребру MM' (вдоль линии, параллельной MM' , ранее проведенной на бумаге). Изменяя угол α , находят его значение $\alpha = \alpha_0$, при котором начинается скольжение бруска вдоль линейки рейсшины. Для определения значения $tg\alpha_0$ рекомендуется построить прямоугольный треугольник, причем длину катета b , лежащего к углу α_0 , рекомендуется выбрать $b=10$ см. При помощи линейки измерить длину другого катета a и занести значение в таблицу 1. Эксперимент повторить не менее 3 раз. Далее вычисляют среднее значение $\langle a \rangle$, значение коэффициента силы трения k и оценки ошибок измерений, значения которых заносят в таблицу 1. Значения $tg\alpha_0$, определяют для всех брусков, входящих в комплект установки, каждый раз начиная эксперимент при значении $\alpha \approx 0$. Аналогичные измерения проводят, изменив массы брусков. Для этого на брусок ставят дополнительный перегрузок - гирьку массой 100 - 200 г. Результаты измерений следует занести в таблицу 1.

При проведении работы следует обратить особое внимание на то, чтобы бруски передвигались по бумаге с постоянной скоростью. Для этого рейсшину следует двигать равномерно и достаточно медленно.

Упражнение 2. Во втором упражнении определяют величины коэффициентов сил трения при скольжении брусков вдоль линейки.

На столике закрепляют чистый лист бумаги. Угол α между линейкой и нормалью к ребру столика MM' устанавливают несколько больше максимального угла α_0 из всех углов α , определенных для различных брусков в первом упражнении. Убеждаются, что все бруски скользят вдоль линейки

рейсшины при ее перемещении по столику. Вплотную к линейке рейсшины, предварительно сдвинутой по столику влево, кладут один из брусков В. Остро отточенным карандашом или стержнем шариковой ручки сквозь просверленное в бруске отверстие отмечают на бумаге первоначальное положение центра бруска. Медленно сдвигают рейсшину вправо по столику так, чтобы брусок двигался по бумаге с постоянной скоростью. Отмечают конечное положение центра бруска. После этого на бумаге строят угол β между перемещением центра бруска и нормалью к поверхности линейки (см.рис.3) и определяют $k = \operatorname{tg}\beta$, как и в упражнении 1 путем измерения катетов соответствующего прямоугольного треугольника.

Этот эксперимент для фиксированного угла α проводят три раза как для бруска без дополнительной гирьки, так и с гирькой аналогично упражнению 1. Ставить и снимать перегрузок с бруска следует осторожно, чтобы не сдвинуть брусок и не исказить его перемещения по бумаге. Результаты измерений, полученные для всех брусков, входящих в комплект установки, заносят в таблицу и проводят статистическую обработку результатов.

Измерения величин коэффициентов трения скольжения k следует провести при двух различных углах α , больших α_0 и сравнить полученные результаты.

Таблица 1.
Измерение коэффициентов сил трения скольжения.

Значения углов	Материал бруска	Вид эксперимента	Экспериментальные данные									
			b	σ_b	a_1	a_2	a_3	$\langle a \rangle$	σ_a	$k=a/b$	σ_k	
Упражнение 1												
α_0	N 1	с грузом										
		без груза										
	N 2	с грузом										
		без груза										
Упражнение 2												
α_1	N 1	с грузом										
		без груза										
	N 2	с грузом										
		без груза										
α_2	N 1	с грузом										
		без груза										
	N 2	с грузом										
		без груза										

Литература.

- [1] Матвеев А. Н. Механика и теория относительности. 2-е изд. М.: Высшая школа, 1986. §36.
- [2] Сивухин Д.В. Общий курс физики. Том 1. Механика. 3-е изд. М. Наука. 1989. §17.
- [3] Хайкин С.Э. Физические основы механики. 2-е изд. М. Наука, 1971. §44-46, §49-50.
- [4] Стрелков С.П. Механика. 3-е изд. М. Наука, 1979. §38-42.
- [5] Юденич В.В. Лабораторные работы по теории механизмов и машин. М. Высшая школа, 1962. С.124.