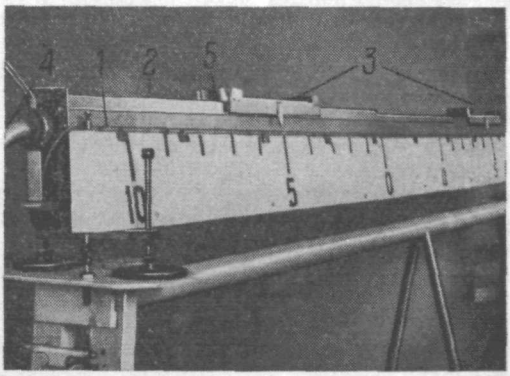
532.1(53.05)

ЛЕКЦИОННЫЕ ДЕМОНСТРАЦИИ НА СКАМЬЕ С ВОЗДУШНОЙ ПОДУШКОЙ

Движение тела на воздушной подушке — тонком слое сжатого воздуха — происходит практически без трения. Этот метод уменьшения трения нашел применение в ряде интересных лабораторных работ физического практикума[1-3]. В кабинете физических демонстраций физического факультета МГУ по инициативе проф. С. П. Стрелкова движение тел на воздушной подушке успешно используется для лекционных

демонстраций в большой аудитории. С этой целью сотрудники Лаборатории вибротехники Каунасского политехнического института А. В. Галинскас, К. М. Рогульскис и В. Д. Пекарскис разработали и изготовили специальную скамью с воздушной подушкой.

Скамья (см. рисунок) выполнена на дюралюминиевой трубе длиной 2,75 *м* (*1*). Поверхности ее прямоугольного профиля (*2*) тщательно обработаны и в них просверлено большое количество отверстий диаметром 0,5 *мм*. Через эти отверстия выходит сжатый воздух, нагнетаемый в трубу двумя пылесосами типа «Сатурн». Избыточное давление воздуха в трубе достигает 0,1 *атм*. На скамью надеваются рейтеры (*3*), внутренняя поверхность которых сопряжена с поверхностью скамьи и также тщательно обработана.



Рейтер приподнимается над скамьей сжатым воздухом, выходящим из отверстий, и под ним образуется воздушная подушка. В таком состоянии рейтер может покоиться или перемещаться вдоль скамьи с пренебрежимо малым трением. После выключения пылесосов рейтеры опускаются на скамью и останавливаются. В ряде демонстраций требуется быстрая одновременная остановка всех рейтеров. Для этого есть специальное устройство, откидывающее шланг пылесоса (*4*) от скамьи. Рейтеры изготовлены из выдержанного дюралюминия длиной от 240 до 360 *мм* и весом 400—600 *г*. На воздушной подушке рейтер может нагружаться дополнительными грузами и приспособлениями, общий вес которых не должен превышать вес самого рейтера. Толщина зазора между рейтером и скамьей изменяется при нагрузке от 200 до 50 *мкм*. Минимальная толщина этого зазора определяет требования, предъявляемые к точности обработки смежных поверхностей скамьи и рейтеров. Для наблюдения за положением рейтера на скамье он снабжен указательной стрелкой, а на боковой поверхности скамьи располагается линейная шкала с крупными делениями, хорошо видимыми в аудитории. Для демонстраций упругих соударений рейтеров на них установлены буферы из ленточных пружин (*5*).

Скамья с пылесосами расположена на специальной тележке. Тележка массивна, имеет достаточно жесткую конструкцию и снабжена выдвижными опорами, на которых она устанавливается в аудитории. Для горизонтальной установки поверхности скамьи используются три юстировочных винта. Контроль юстировки в поперечном направлении осуществляется по уровню.

Для юстировки скамьи в продольном направлении необходимо добиться состояния безразличного равновесия рейтера на воздушной подушке по всей длине скамьи. Это состояние сохраняется при наклонах скамьи, не превышающих $\pm 0{,}0001$ *рад*, что при расстоянии между юстировочными винтами 2 *м* и шаге винтов 2 *мм* соответствует их поворотам на $\pm 30^0$—40^0. Таким образом, коэффициент трения не превышает величины порядка $1 \cdot 10^{-4}$ и для ускорения рейтера на горизонтальной скамье достаточны силы порядка 40—60 *мГ* (1/10 000 веса рейтера). Такая чувствительность прибора предъявляет довольно серьезные требования к тщательности его подготовки перед демонстрацией на лекции. Однако связанные с этим трудности вполне окупаются возможностью демонстрации опытов по обнаружению сравнительно малых сил и наблюдению движений с малыми ускорениями.

На скамье может демонстрироваться большой круг лекционных опытов. Это, например, прямолинейное равномерное движение тел, которое вообще не реализуется другими демонстрационными средствами. Ряд простых традиционных опытов демонстрируется в значительно более корректных и удобных условиях. Так, равномерно-ускоренное движение шара на желобе Галилея обычно длится 2—3 *сек*, и аудитории трудно одновременно следить и за положением шара и за сигналами времени. Этот же опыт на воздушной подушке проводится при небольшом наклоне скамьи и длится достаточно долго (30—40 *сек*), что существенно облегчает наблюдение этой демонстрации.

Опыты по упругим соударениям проводятся на горизонтальной скамье также при достаточно медленном движении рейтеров. Эти опыты успешно заменяют демонстрации на тележках Гримзеля, на приборе для соударения шаров и др. Перечислять здесь все возможные варианты известных демонстраций, которые могут осуществляться на скамье, вряд ли целесообразно. Приведем в качестве примера описание лишь некоторых новых демонстраций, поставленных на этом приборе.

1. Упругое соударение легкого шарика со свободным телом значительно большей массы. На воздушную подушку ставят большой нагруженный рейтер, рядом со скамьей помещают отвес с легким упругим шариком, располагая его около буферной пружины рейтера. Отводят шарик из положения равновесия и отпускают его так, чтобы он при качаниях отвеса упруго отражался от буферной пружины рейтера. Сначала рейтер остается в покое, и только после нескольких ударов шарика движение рейтера становится заметным для аудитории и он удаляется от отвеса, двигаясь равномерно по горизонтальной скамье. Этим демонстрируется тот факт, что при упругом отражении легкого шарика от тела значительно большей массы это тело получает небольшой импульс. Для его обнаружения используется метод накопления телом большой массы ряда периодически повторяющихся слабых импульсов. Желательно предварительно подобрать такие условия опыта, чтобы одиночный удар шарика не приводил рейтер в движение, и отдельно продемонстрировать это обстоятельство.

2. «Магнитный маятник». На концах скамьи укрепляются постоянные магниты, обращенные к середине скамьи одноименными полюсами. Между ними на воздушной подушке помещается рейтер, снабженный стержневым магнитом, который отталкивается от неподвижных концевых магнитов. Из начального положения около одного из магнитов рейтер совершает колебательное движение вдоль всей скамьи с очень малым затуханием. На большей части скамьи рейтер движется практически равномерно. Это простая демонстрация дает пример негармонического колебательного движения тела в прямоугольной потенциальной яме.

3. Втягивание твердого диэлектрика в конденсатор. В качестве диэлектрической пластины используется рейтер, склеенный из тонких стеклянных пластин. Над скамьей, параллельно ей, на высоте 5—10 *мм* закрепляется на изоляторе металлическая пластина, образующая со скамьей конденсатор. Рейтер располагается на воздушной подушке вне конденсатора. После подключения пластины к высоковольтному выпрямителю рейтер втягивается в конденсатор, проходит по инерции через него, тормозится, втягивается снова и начинает совершать колебания в неоднородном поле под действием пондеромоторных электростатических сил.

Для того чтобы у конденсатора не создавалась значительная неоднородность воздушного потока, в металлической пластине просверлено большое число отверстий диаметром 5 *мм*. Напряжение выпрямителя 15 *кв* при внутреннем сопротивлении 1 *Гом*.

4. Демонстрация трения качения. На скамье располагают рейтер и хорошо центрированный металлический цилиндр с точно обработанной поверхностью. После проверки горизонтальности установки скамьи (рейтер покоится на воздушной подушке) постепенно наклоняют скамью юстировочным винтом продольного наклона в сторону рейтера, который начинает двигаться. Обращают внимание на то, что цилиндр при этом остается в покое за счет действующего на него момента трения качения, так как сжатый воздух не нарушает контакта цилиндра с поверхностью скамьи. Воздушную подушку можно на этом этапе выключить. После дальнейшего увеличения наклона скамьи достигается такой угол наклона, при котором начинается качение цилиндра: момент сил трения покоя относительно оси цилиндра уже превышает при этом угле наклона момент трения качения, препятствовавший возникновению качения при меньшем наклоне. В этой основной части демонстрации скамья используется без воздушной подушки, как простой трибометр трения качения.

Демонстрационные приборы с воздушной подушкой должны помочь созданию и других лекционных опытов, трудно осуществимых обычными средствами.

Авторы выражают глубокую благодарность В. С. Букланову, Н. С. Соколову и М. С. Тихомирову за создание ряда необходимых приспособлений и участие в работе.

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова

К. Н. Баранский, Д. Ф. Киселев, В. В. Корчажкин, С. И. Усагин

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. H. V. Neher, R. B. Leighton, Am. J. Phys. **31**, 255 (1963).
2. Ealing Catalogue, 1966—1967, p. 41.
3. A. Shilton, Phys. Education 6 (1), 25 (1971).