

УДК 536 (075.8) .

**В.И. ГЛАДКОВСКИЙ, А.И. ПИНЧУК**  
Брест, БрГТУ

### **ИК-ФИЛЬТР КАК СПОСОБ ДЕМОНСТРАЦИИ МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ РАДИОМЕТРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА**

**Введение.** Радиометрическим эффектом называют явление самопроизвольного движения твердых тел, имеющих различную температуру поверхностей и находящихся в атмосфере разреженных газов [1]. Этот эффект имеет место тогда и только тогда, когда одна сторона твердого тела имеет более высокую температуру по сравнению с другой. Неравенство температур обеих сторон одного и того же твердого тела достигается, как правило, путем формирования светлого и темного покрытия на противоположных сторонах тела. Поскольку темная сторона обладает большей поглощательной способностью, чем светлая, то и температура этой темной стороны лопасти крыльчатки больше, чем температура светлой стороны. Устройство была изобретено в 1875 году британским ученым Уильямом Круксом, который путем взвешивания на очень точных весах определял атомную массу дважды открытого им элемента – таллия. Чтобы случайные воздушные потоки не отражались на точности взвешивания, Крукс решил подвесить коромысла в вакууме с доступной для него в то время степенью разрежения. Оказалось, что в таких условиях весы становились чувствительными к теплу. Если источник тепла находился над предметом, то вес предмета увеличивался, и наоборот.

**Теоретические основания методики демонстрационного эксперимента.** Радиометрический эффект имеет молекулярно-кинетическую природу. Молекулы разреженного газа, отражающиеся от более нагретой поверхности твердого тела, получают больший импульс, чем молекулы, отражающиеся от менее нагретой стороны. Поэтому, в соответствии с законом сохранения импульса, твердое тело движется в противоположном направлении. Еще одной причиной, вызывающей возникновение радиометрических сил, является движение приповерхностного слоя газа в сторону более нагретой поверхности. Вязкость газа способствует распространению этого движения на отдаленные слои газа. В соответствии с законом сохранения импульса, твердое тело также движется в противоположном направлении [2]. Обычно в случае разреженного газа подобным явлением можно пренебречь.

Если поместить пластину с различными температурами в атмосферу разреженного газа, то на нее действует сила  $F$ , равная

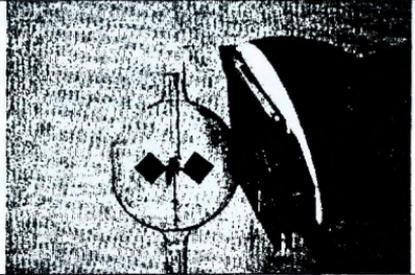
$$F = \frac{pA}{2} \left( \sqrt{\frac{\alpha_E T_H + (1 - \alpha_E) T_G}{T_G}} - \sqrt{\frac{\alpha_E T_C + (1 - \alpha_E) T_G}{T_G}} \right),$$

где  $p$  – давление газа,  $T_H$  и  $T_C$  – температуры горячей и холодной стороны, соответственно,  $T_G$  – температура газа,  $A$  – площадь лопасти и  $\alpha_E$  – коэффициент поглощения энергии [3]. При изменении давления газа изменяется скорость вращения крыльчатки. Это возможно осуществить лишь в узком диапазоне давлений. С одной стороны, давление не должно быть слишком низким, поскольку сообщаемый в этом случае импульс будет слишком мал, чтобы вызывать вращение. С другой стороны, давление не должно быть слишком высоким, чтобы молекулы газа имели возможность перелететь от одной поверхности к другой, не сталкиваясь друг с другом.

**Результаты и обсуждение.** Нами разработана лекционная демонстрация с целью показа прямого преобразования тепловой энергии в механическую. Основой созданной установки для изучения радиометрического эффекта является радиометр Крукса. Он имеет крыльчатку с четырьмя лопастями, сбалансированную на игле внутри стеклянной колбы с небольшим отрицательным (пониженным) давлением. К радиометру прилагаются источники электромагнитного излучения, работающие в следующих диапазонах длин волн электромагнитного диапазона: 1) оптический и инфракрасный диапазон; 2) только инфракрасный диапазон.

Из приведенных фотоматериалов видно, что радиометрический эффект имеет место в том случае, когда на крыльчатку падает световое и инфракрасное излучение от лампы накаливания. Если с помощью инфракрасного

фильтра перекрыть путь видимому излучению, то крыльчатка продолжает вращаться. Следовательно, причина наблюдаемого явления заключается в том, что электромагнитные волны инфракрасного диапазона нагревают черную поверхность лопастей лучше, чем электромагнитные волны в оптическом диапазоне. Это можно наглядно показать, посветив на крыльчатку Крукса светом энергосберегающей лампы, которая «светит, но не греет».

СПОСОБ ОБЛУЧЕНИЯ	
Оптический и инфракрасный диапазон (лампа накаливания)	Только инфракрасный диапазон (тепловой нагреватель)
	
Крыльчатка вращается	Крыльчатка вращается

**Заключение.** Предлагаемая нами демонстрация позволяет не только дать наглядное представление о превращении тепловой энергии в механическую и пример бесконтактной передачи движения в вакууме, но и акцентирует внимание на том, что радиометрический эффект проявляется в большей степени в случае теплового (инфракрасного) излучения, нежели чем в оптическом диапазоне.

Использование предлагаемой демонстрации создает хороший учебно-методический эффект. Применение данной установки в учебном процессе позволяет:

- отвечать принципу научности демонстрационных опытов, сделать демонстрации выразительными;
- избежать подмены внешне похожих эффектов, имеющих принципиально различную физическую природу;
- преодолеть научно-педагогическую трудность, заключающуюся в невозможности демонстрации установки Лебедева, регистрирующей давление света.

Указанная лекционная демонстрация внедрена в учебный процесс по кафедре физики БрГТУ в разделе «Молекулярная физика» курса «Физика».

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Maxwell, J.C. On stresses in rarified gases arising from inequalities of temperature / J.C. Maxwell // Phil. Trans. R. Soc. of London 170. – 1879. – P. 231–256.
2. Einstein, A. Zur theorie der radiometrekräfte / A. Einstein // Zeitschrift für Physik 27. – 1924. – P. 1–5.
3. Analysis and Applications of Radiometric Forces in Rarefied Gas Flows / S. Gimelshein [et al.] // 27<sup>th</sup> International Symposium on Gas Dynamics, Pacific Grove, CA. – July 2010.