

РАДІОМЕТР КРУКСА В ЛЕКЦІЙНОМУ ЕКСПЕРИМЕНТІ

Запропоновано нові можливості лекційного експерименту з радіометром Крукса. Встановлено існування перехідного режиму роботи радіометра при зміні його теплового контакту з оточуючим середовищем. Зроблено спробу пояснити деякі особливості обертання вертушки радіометра.

Ключові слова: демонстраційний експеримент, радіометр Крукса, абсорбція, десорбція.

У шкільному курсі фізики, а також у розділі теплового випромінювання університетського курсу згадується про радіометричний ефект і про радіометр Крукса. Викладачі демонструють дивовижне явище обертання лопаток при освітленні радіометра денним світлом або електричною лампою розжарення. Здається природним сприймати цей експеримент як очевидний вплив світла на обертання легких пластинок вертушки. І це не дивно, якщо звернутися до історії цього експерименту. До теперішнього часу не слабшає інтерес до фізичних процесів, що визначають обертання лопаток радіометра [1].

Мета цієї роботи: розширити можливості демонстраційного експерименту з радіометром Крукса і пояснити деякі особливості руху лопаток ротора на підставі молекулярно-кінетичної теорії і теорії теплового випромінювання.

Радіометр був створений в 1873 р. британським вченим сером Вільямом Круксом, який був переконаний, що обертання ротора викликане тиском світла на чорні сторони лопаток. Поясненням обертання ротора займалися Д. Максвелл [2], О. Рейнольдс [3], А. Ейнштейн [4]. Зміна напрямку обертання крил радіометра Крукса під впливом катодних променів розглядається в роботі [5].

Чи викликається обертання вертушки радіометра тиском світла? Тиск світла на блискучу поверхню повинен бути більшим, ніж на зачорнену, тобто ротор повинен обертатися в напрямі зворотньому спостережуваному в радіометрі. А. Шустер, на той час співробітник О. Рейнольдса, провів експеримент, підвісивши радіометр на тонкій нитці. Як тільки балон піддавався тепловій дії, вертушка починала обертатися. Але і колба радіометра теж починала обертатися – тільки в інший бік. Таким чином, стало очевидно, що ефект **обертання лопаток** радіометра пов'язаний з особливостями перетворення теплової енергії в механічну і обумовлений взаємодією молекул газу в колбі радіометра з зачорненою і світлою сторонами лопаток.

Наразі відомі два механізми, що призводять до обертання ротора блискучою поверхнею вперед:

- напрямлений рух газу від холодної (дзеркальної) до теплої (зачорненої) поверхні на кромках лопаток вертушки (теплова транспірація) [2,3];
- різниця в швидкостях молекул газу відбитих від зачорнених (тепліх) і дзеркальних (холодних) поверхонь лопаток [4].

Студентам розповідають про один з цих механізмів, як правило – другий, що легко засвоюється. Молекули газу, ударяючись в поверхню нагрітої чорної сторони лопаток, атоми якої енергійніше коливаються, відскакують від неї з більшою швидкістю, чим від поверхні дзеркальної сторони. Ця різниця в швидкостях (імпульсах) відбитої і падаючої молекул викликає додатковий тиск на чорну сторону і спричиняє відповідне обертання ротора. Тобто, пояснення радіометричного ефекту має не стільки радіаційне, як молекулярно-кінетичне походження.

Звертаємо увагу студентів, ще на одне явище.

Розсіяння газу атомарно-чистою поверхнею твердого тіла можна віднести до теплового режиму, в якому теплові коливання атомів поверхні є домінуючим чинником, що визначає характер взаємодії атомів газу з поверхнею. Цей режим розсіяння характеризується плоскою ефективною поверхнею взаємодії. Принаймні, такою її "бачить" налітаючий атом. При цьому взаємодія в системі газ – тверде тіло відбувається на досить великих відстанях від поверхні, при яких практично відсутнє проникнення атомів газу в поверхню.

У випадку шорсткої поверхні, якою, зокрема, є зачорнена поверхня лопаток, атоми газу в більшій кількості адсорбуються на ній. У результаті значної ненасиченості силового поля окремих виступів і піків поверхні, ці елементи мають можливість утримувати налітаючі молекули газу. Зі збільшенням тиску газу число адсорбованих молекул збільшується [6]. Час перебування молекул в адсорбованому стані залежить від температури і при не дуже високих температурах може бути значним. Через певний час, в результаті флуктуації кінетичної енергії, молекули відриваються від поверхні адсорбента і переходять в газову фазу, віддаючи відповідний імпульс поверхні. Замість цих молекул, активні центри можуть адсорбувати нові

молекули, які в свою чергу десорбуються. При зміні тиску газу число адсорбованих молекул на поверхні динамічно змінюється. Це явище, на нашу думку, можна спостерігати на радіометрі Крукса.

Якщо радіометр обдувати теплим повітрям, так щоб його стінки нагрілися до 50 – 60°C, то спостерігається обертання вертушки у напрямі блискучих поверхонь, протилежно радіометричному ефекту. Це спостереження може бути пояснене тим, що гаряче повітря нагріває скляну колбу радіометра і відповідно газ. Тиск газу збільшується. Молекули газу досягають чорної і блискучої поверхні вертушки і передають їм відповідний імпульс. Причому, у разі взаємодії молекул газу з блискучими поверхнями, передається більший загальний імпульс в порівнянні з молекулами відбитими від зачорнених поверхонь, бо значна частина молекул при підвищенні тиску газу додатково адсорбується на зачорненій поверхні. Через деякий час колба прогрівається, тиск газу перестає змінюватися і обертання припиняється. При цьому число падаючих і відбитих молекул від зачорненої і дзеркальної поверхонь врівноважується.

У лекційному експерименті спочатку вмикають лампу розжарювання і спостерігають звичайний радіометричний ефект. Потім світло вимикають і на радіометр Крукса направляють потік теплого повітря в його верхню частину (щоб виключити можливу конвекцію газу в балоні радіометра). Тиск газу в колбі поступово збільшується і лопатки починають рухатися протилежно радіометричному обертанню. Після прогрівання колби і встановлення незмінного тиску, обертання лопаток вертушки припиняється. Далі, після відключення потоку теплого повітря, колбу охолоджують в нижній частині холодною водою або льодом. Температура газу і, відповідно, тиск зменшуються. Вертушка без додаткового освітлення починає обертатися в напрямі радіаційного ефекту, що можна пояснити десорбцією молекул газу з зачорнених поверхонь.

Треба зазначити, що описаний вище ефект може бути також частково пов'язаний з існуванням відкритого в [7] нового типу вільної конвекції, що не залежить від існування гравітаційного поля – термостресової (температурної) конвекції, виключення якої в умовах описаного вище досліду не представлялося можливим.

Висновки. 1. Встановлено існування перехідного режиму роботи радіометра Крукса при зміні його теплового контакту з оточуючим середовищем. У випадку нагрівання колби радіометра, його ротор обертається в напрямі, протилежному спостережуваного радіометричного ефекту; при охолодженні – навпаки, в тому ж напрямі, як при радіометричному ефекті. Радіометр відновлює свій робочий режим, після встановлення теплової рівноваги між його елементами і зовнішнім середовищем.

2. Виявлений ефект може бути використаний в лекційному експерименті, для демонстрації взаємодії поверхневого шару твердого тіла з газовим середовищем.

Використані джерела

1. [Аникин Ю. А.](#) Численное исследование радиометрического феномена в случае вращающегося радиометра Крукса. – Журнал вычислительной математики и математической физики. – 2011. – Т. 51, № 11. – С. 2042-2052.
2. Maxwell J.C. On stresses in rarified gases arising from inequalities of temperature. – Philos. Trans. R. Soc. London. – 1879. – № 170. – С. 231.
3. Reynolds O. On certain dimensional properties of matter in the gaseous state. – Royal Society Phil. Trans. – 1879, Part 2.
4. Einstein A. Zur Theorie der Radimeterkräfte. – Z. Phys. – 1924. – № 7. – С. 1.
5. Гезехус Н.А. Радиометр Крукса с катодными лучами. – Вестник опытной физики и элементарной математики. – 1899.- № 290. – С. 35-36.
6. Воюцкий С.С. Курс коллоидной химии.- Москва: "Химия", 1976. – 512 с.
7. Коган М. Н., Галкин В. С., Фридендер О. Г. О напряжениях возникающих в газах вследствие неоднородности температуры и концентраций. Новые типы свободной конвекции. – Успехи физических наук.- 1976. – Т. 119, вып. 1, с. 111-125.

Loskutov S.V., Zolotarevsky I.V.

THE CROOKES RADIOMETER IN THE LECTURES EXPERIMENT.

The new possibilities of the lecture experiment are offered with the Crookes radiometer. Explanations of the rotation mechanism blades of radiometer are given.

Key words: *demonstrations experiment, radiometer.*

Стаття рекомендована кафедрою фізики Запорізького національного технічного університету.

Стаття надійшла до редакції: 15.03.2013