

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
“НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ”

ФІЗИКА.

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ  
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ ДОКАЗ ДИСКРЕТНОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОГО ЗАРЯДУ  
(ДОСЛІД МІЛЛІКЕНА)

Дніпропетровськ

2014

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ УЧБОВИЙ ЗАКЛАД  
“НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ”

Кафедра фізики

ФІЗИКА.

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

Експериментальний доказ дискретності електричного заряду (дослід Міллікена)

для студентів всіх спеціальностей

Дніпропетровськ

ДВНЗ “НГУ”

2014

Фізика. Методичні вказівки до лабораторної роботи “Експериментальний доказ дискретності електричного заряду (дослід Міллікена).” Матеріали методичного забезпечення дисципліни “Фізика” для студентів всіх спеціальностей. / Л.І. Барташевська, А.С. Зайців, А.В. Чернай – Д.: Державний вищий навчальний заклад “Національний гірничий університет”, 2014.– 7 с.

Автори:

Л.І. Барташевська, А.С. Зайців, кандидати фіз.-мат. наук

А.В. Чернай, доктор фіз.-мат. наук.

Всі укладачі брали участь в розробці макета і методичних вказівок до лабораторної роботи.

*Затверджено до видання редакційною порадою ГВУЗ “НГУ” (протокол № від ) за наказом методичної комісії напряму підготовки 6.050301 Гірництво (протокол №\_від\_2011 р.)*

Методичні матеріали призначені для самостійної підготовки студентів всіх інженерних спеціальностей до лабораторної роботи і контролю практичних і лабораторних занять по нормативній дисципліні «Фізика».

Розглянуті теоретичні відомості, прилад і установка, які використовуються в лабораторній роботі.

Рекомендації орієнтовані на активацію учбової діяльності студентів.

Відповідальний за випуск завідуючий кафедрою фізики, канд. фіз.-мат., наук, проф. І.П. Гаркуша.

### Лабораторна робота 3.33

#### ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ ДОКАЗ ДИСКРЕТНОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОГО ЗАРЯДУ (ДОСЛІД МІЛЛІКЕНА)

**Прилади і устаткування:** 1) персональний комп'ютер; 2) комп'ютерна модель лабораторної установки досліду Міллікена.

**Мета роботи:** ознайомлення з дослідом Міллікена; підтвердження дискретності заряду за допомогою комп'ютерної моделі лабораторної установки досвіду Міллікена.

#### **Опис установки і теоретичні відомості.**

Експериментальне визначення величини елементарного заряду  $e$  і пряме підтвердження дискретності електричного заряду було здійснено американським вченим Міллікеном в 1908-1917 роках.

Складно здійснений в умовах учбової лабораторії дослід Міллікена можна провести за допомогою комп'ютерної моделі, представленій в даній лабораторній роботі. На рис. 1 представлена схема досвіду, на якій зображені горизонтально розташовані пластини конденсатора (1); пульверизатор (2) для отримання дрібних крапельок; джерело напруги (3), за допомогою якої і відбувається зарядка конденсатора, а значить і створюється різниця потенціалів між пластинами конденсатора; кнопка (4); джерело рентгенівського випромінювання (5); окуляр мікроскопа (6), що дає можливість побачити рух крапельок між двома лініями, розташованими на різних висотах, при цьому час руху фіксується за допомогою секундоміра.

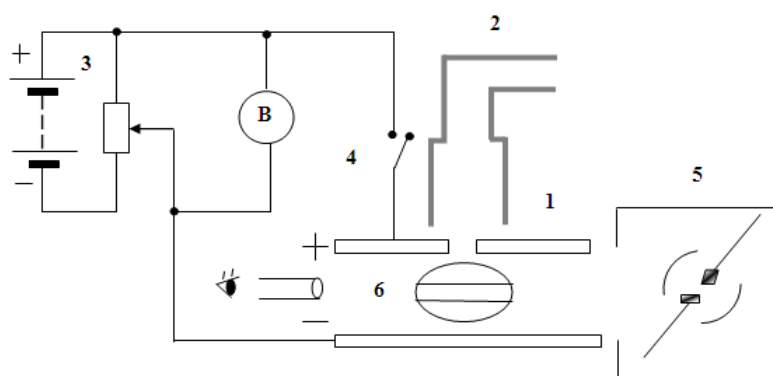


Рис. 1

В даній роботі розглядається рух крапельки у водні з урахуванням сили Архімеда і сили внутрішнього тертя – сили Стокса.

На рис. 2 показані сили, що діють на заряджену крапельку у відсутності електричного поля (а) і в полі (б). І в першому і в другому випадках рух крапельки рівномірний. У випадку а) крапелька рухається вниз, а у випадку б) – вгору.

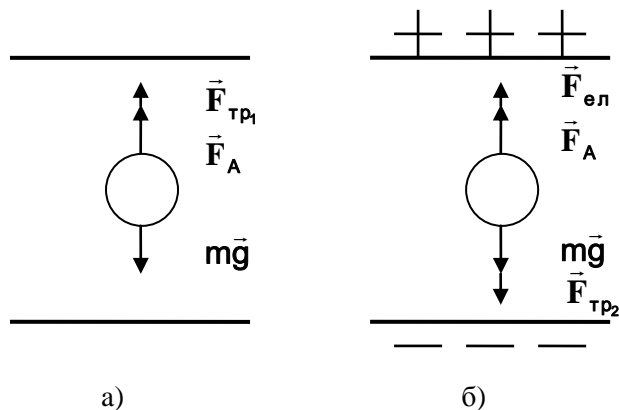


Рис. 2

Записавши рівняння руху крапельки у векторній формі

$$\left. \begin{aligned} \vec{F}_A + m\vec{g} + \vec{F}_{тр1} &= 0 \\ \vec{F}_{эл} + \vec{F}_A + m\vec{g} + \vec{F}_{тр2} &= 0 \end{aligned} \right\},$$

а потім в скалярній

$$\left. \begin{aligned} mg - F_{тр1} - F_A &= 0 \\ mg + F_{тр2} - F_A - F_{эл} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

і враховуючи, що сила Архімеда  $F_A = \rho_{H_2} \cdot gV$ , де  $\rho_{H_2}$  – густина водню,  $V$  – об'єм крапельки, а сила тертя при малих швидкостях руху краплі пропорційна її швидкості  $F_{тр} = k\mathcal{Q}$ , отримаємо

$$\left. \begin{aligned} mg - k\mathcal{Q}_0 - \rho_{H_2} gV &= 0 \\ mg + k\mathcal{Q}_1 - \rho_{H_2} gV - qE &= 0. \end{aligned} \right\}$$

Виразивши з рівнянь (2) швидкості руху крапельки  $\mathcal{Q}_0$  для випадку а) і  $\mathcal{Q}_1$  для випадку б), отримаємо

$$\left. \begin{aligned} \mathcal{G}_0 &= \frac{1}{k}(mg - \rho_{H_2}gV) \\ \mathcal{G}_1 &= \frac{1}{k}(\rho_{H_2}gV + gE - mg). \end{aligned} \right\}$$

Розділивши перше рівняння на друге, отримаємо

$$\frac{\mathcal{G}_0}{\mathcal{G}_1} = \frac{mg \cdot \rho_{H_2}gV}{\rho_{H_2}gV + qE - mg} \quad (3)$$

В дослідах Міллікена велика частина крапель, що потрапляють в простір між пластинами, заряджають, придбаваючи негативний заряд. Крапельки між пластинами конденсатора рухаються майже рівномірно унаслідок наявності внутрішнього тертя середовища. Створивши між пластинами поле, можна примусити краплю підійматися, а при її наближенні до верхньої пластини, вимкнувши поле, опускатися під впливом сили тяжкості.

Включаючи і вимикаючи поле, можна примусити краплю багато разів повторювати рухи між пластинами то вгору, то вниз. У момент включення і виключення поля відбувається швидка зміна швидкості краплі, а як видно з (3) такі зміни швидкості можливі тільки при зміні заряду краплі, оскільки  $m$ ,  $g$ ,  $E$ ,  $\rho_{H_2}$  і  $V$  залишаються постійними при даних наглядах.

Міллікен припустив, що заряджена крапля, рухаючись в середовищі іонізованого рентгенівським випромінюванням газу, захоплює іони, що і приводить до зміни заряду краплі, а отже, і швидкості її руху. Слід зазначити, що оскільки середовищем, в якому рухаються краплі в даній роботі, є водень, то іонізація цього газу приводить до виникнення електронів і однозарядних позитивних іонів. А оскільки маса іона багато більше маси електрона, то і переріз його взаємодії з крапелькою на декілька порядків більше, ніж переріз взаємодії з електронами. Саме тому крапелька захоплює позитивний іон, а, отже, її негативний заряд зменшується.

Початковий заряд крапельки  $q_1$  і заряд краплі після захвату  $-q_2$  пропорційні  $((\mathcal{G}_0 + \mathcal{G}_1))$  і  $((\mathcal{G}_0 + \mathcal{G}_2))$  відповідно.

А різниця  $(q_2 - q_1)$  визначає заряд, придбаний крапелькою.

$$\Delta q = q_2 - q_1 = \frac{g(m - \rho_{H_2}V)}{v_0 E} (\mathcal{G}_2 - \mathcal{G}_1). \quad (3)$$

(Висновок формули (3) приведений в додатку).

Таким чином, величина захопленого крапелькою заряду пропорційна різниці швидкостей руху краплі після і до захоплення.

З численних дослідів, виконаних Міллікеном, ним був зроблений висновок: де б ні зустрічався електричний заряд  $q$ – на ізоляторах, провідниках, в електролітах або в металі – скрізь він є сумою деяких елементарних зарядів  $e$ , які завжди однакові  $\Delta q = ke$  де  $k=1; 2; 3...$

### ***Послідовність вимірювань***

1. Ознайомтеся з схемою роботи установки.
2. Виберіть будь-яку з падаючих крапель і зафіксуйте її, натискуючи клавішу «пропуск» у момент перетину нею верхньої лінії. Включіть джерело рентгенівського випромінювання, для чого **короткочасно** натискуйте на клавішу «F»-4.
3. Після досягнення «міченою крапелькою» нижньої лінії тією ж клавішею «пропуск» вимкнете секундомір.
4. Включіть за допомогою клавіші «↑» поле і зафіксуйте той момент, коли вибрана вами крапелька перетне верхню лінію.
5. Вимкніть поле, натискуючи клавішу «↓», після чого перейдіть до нового досвіду.
6. Проаналізуйте автоматично заповнювану таблицю, в якій приведені величини зарядів, «захоплених» крапелькою  $\Delta q$ . Переконайтеся в тому, що всі отримані величини зарядів придбані крапелькою кратно цілому числу елементарних зарядів  $e=1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл.

### ***Контрольні питання***

1. Яким чином крапелька одержує первинний заряд?
2. Яким чином проводиться в даному досвіді іонізація водню?
3. Який умова рівномірного руху зарядженої крапельки в електричному полі?
4. Який умова рівномірного руху незарядженої крапельки?
5. Чому рівний елементарний заряд і які частинки володіють цим зарядом?

### ***Література***

1. Сивухин Д.В. Загальний курс фізики/ Д.В. Сивухин. – М.: «Наука», 1997. – 688 с.
2. Матвеев А.Н. Електрика і магнетизм/ А.Н. Матвеев. – М.: «Вища школа», 1983. – 463 с.

## Додаток 1

З рівняння (3) знайдемо величину заряду крапельки

$$q = \frac{(\mathcal{G}_0 + \mathcal{G}_1) g (m - \rho_{H_2} V)}{\mathcal{G}_0 E} \quad (\text{П.1})$$

Масу краплі виразимо через густину краплі  $\rho_M$  і її об'єм  $V = \frac{4}{3} \pi r^3$ .

Після підстановки  $m = \rho_M \cdot V = \rho_M \frac{4}{3} \pi r^3$  в (П.1), отримаємо

$$q = \frac{(\mathcal{G}_0 + \mathcal{G}_1) g \cdot \frac{4}{3} \pi r^3 (\rho_M - \rho_{H_2})}{\mathcal{G}_0 E}.$$

За відсутності електричних полів рух частинки описується рівнянням

$$\vec{m}g + \vec{F}_{\text{тр}} + \vec{F}_A = 0$$

В скалярній формі цей закон можна записати у вигляді

$$mg - F_A - F_{\text{тр}} = 0 \quad (\text{П.2})$$

З урахуванням того, що  $F_{\text{тр}} = F_{\text{стокса}} = 6\pi\eta r v_0$ , де  $\eta$  – коефіцієнт внутрішнього тертя водню, після підстановки  $F_A$  і  $F_{\text{тр}}$  в (П.2), отримаємо

$$(\rho_M - \rho_{H_2}) \cdot \frac{4}{3} \pi r^3 g = 6\pi\eta r \mathcal{G}_0. \quad (\text{П.3})$$

Виразити з (П.3)  $r = \sqrt{\frac{9\eta\mathcal{G}_0}{2g(\rho_M - \rho_{H_2})}}$  і підставивши його в (П.1), отримаємо

$$q = \frac{\mathcal{G}_0 + \mathcal{G}_1}{E} \cdot \frac{18\pi\eta}{\sqrt{2g}} \cdot \sqrt{\frac{\eta\mathcal{G}_0}{(\rho_M - \rho_{H_2})}}. \quad (\text{П.4})$$

Нехтуючи  $\rho_{H_2}$  по порівнянню з  $\rho_M$  і, підставляючи всі відомі величини, вираз (П.4) перепишемо у вигляді



$$q = \frac{12,77(\vartheta_0 + \vartheta_1)\eta}{E} \sqrt{\frac{\eta\vartheta_0}{\rho_M}},$$

а вираз для  $\Delta q$  запишемо так:

$$\Delta q = \frac{12,77(\vartheta_2 - \vartheta_1)\eta}{E} \sqrt{\frac{\eta\vartheta_0}{\rho_M}}.$$

Ця формула співпадає з приведеною в лабораторній роботі, що розглядає модель досвіду Міллікена на ПК, але в ній позначення деяких величин не співпадають із загальноприйнятими.

Так, в'язкість  $\eta$  середовища, в якому відбувається рух краплі позначена буквою  $P$ , а густина масла  $\rho_M$  – буквой  $R$ .

З урахуванням цього, вираз для  $\Delta q$  набуває вигляд

$$\Delta q = \frac{12,77(\vartheta_2 - \vartheta_1)P}{E} \sqrt{\frac{P\vartheta_0}{R}}.$$

В даній роботі розрахунок  $q$  і  $\Delta q$  проводиться автоматично після кожного досвіду, при цьому таблиця результатів також поповнюється автоматично.