

ДЕМОНСТРАЦІЙНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ ПІД ЧАС ВИВЧЕННЯ ТЕМИ «СИЛА ЛОРЕНЦА»

Валерій ЗДЕЩИЦ, професор кафедри фізики та методики її навчання Криворізького національного університету;

Галина ПОЛОВИНА, доцент кафедри фізики та методики її навчання Криворізького національного університету

В умовах становлення і розвитку високотехнологічного інформаційного суспільства в Україні виникає необхідність підвищення якості та пріоритетності шкільної природничо-математичної освіти. Серед природничих наук фізика є одним із лідерів, тому що вона впливає на різні сфери науки, техніки та виробництва.

Фундаментальна природничо-математична освіта є одним із основних чинників розвитку особистості, що потребує оновлення її змісту з урахуванням суспільних запитів, потреб інноваційного розвитку науки й виробництва, запровадження сучасних методів навчання, поліпшення якості підготовки та видання навчально-методичної літератури [1].

У програмі [1] проаналізовано причини виникнення проблеми та обґрунтування необхідності її розв'язування програмним методом.

Причинами виникнення проблеми є:

- недосконалість змісту шкільної освіти;
- низька якість деяких підручників;
- незадовільний стан матеріально-технічного забезпечення загальноосвітніх навчальних закладів. Зокрема, кабінети фізики лише на 10–15 % забезпечені обладнанням, що негативно впливає на якість освіти, дотримання вимог державного освітнього стандарту;

- шкільну програму з фізики складено таким чином, що на кожному уроці викладають новий теоретичний матеріал, який через обмаль часу не підтверджений практично та експериментально;

- недостатній рівень кваліфікації педагогічних кадрів.

У програмі [1] вказуються шляхи та засоби розв'язування проблеми, зокрема поліпшення експериментального методу навчання в школі відбудеться після «налагодження виробництва вітчизняного навчального обладнання і дидактичних засобів».

А поки налагоджуватиметься вітчизняне виробництво, ми пропонуємо, використавши існуюче в школі обладнання та саморобні пристрої, зробити все необхідне для демонстраційного експерименту та лабораторної роботи з теми «Сила Лоренца».

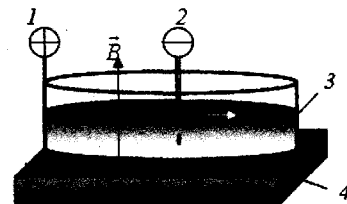
Сила Лоренца – це результат дії електричного та магнітного полів на рухомий електричний заряд:

$$\vec{F}_L = q(\vec{E} + [\vec{v}\vec{B}]), \quad (1)$$

де q – електричний заряд; \vec{E} – напруженість електричного поля; \vec{v} – швидкість руху заряду.

Розклад сполуки на йони під час розчинення називається електролітичною дисоціацією.

На мал. 1 зображена посудина [2, 3], наповнена розчином електроліту: два електроди (кільце 1 і стержень 2) приєднано до полюсів батареї. Струм в електроліті 3 йде від 1 до 2, тобто йони рухаються вздовж радіусів посудини. Поставимо посудину на



Мал. 1. Схема досліду з магнітом один з полюсів магніту 4, наприклад на північний, так що магнітне поле напрямлене вгору, перпендикулярно до напрямку руху йонів. Сили Лоренца прагнуть переміщати йони в напрямку горизонтальної стрілки по колах перпендикулярно до радіусів посудини. Ми виявляємо, що в цьому напрямку починає рухатися весь розчин.

Щоб зрозуміти сенс цього досліду, треба пригадати, що йони становлять лише малу частку від загальної кількості молекул розчину. Тільки рухомі йони безпосередньо зазнають дії сил Лоренца; вся ж маса нейтральних молекул рідини набуває колового руху завдяки зіткненню йонів з молекулами.

Дослід доводить не тільки існування сил, що діють на рухомі йони з боку магнітного поля, а й існування сил «тертя» між йонами і молекулами рідини.

Оцінимо швидкість руху йонів в електроліті за методикою [3]. Просочимо листок фільтрувального паперу 1 розчином електроліту (натрій сульфату Na_2SO_4) і фенолфталеїну і помістимо на скляну пластинку 2 (мал. 2). Уперек паперу покладемо білу нитку 3, змочену розчином їдкого натра (NaOH).

Папір під ниткою забарвиться в малиновий колір завдяки взаємодії гідроксид-іонів (OH^-) з фенолфталеїном. Потім притиснемо до країв листка плоскі електроди 4 (наприклад, леза бритви), приєднані до акумулятора, й увімкнемо струм. Гідроксид-іони по-

чнуть рухатися тільки до анода, забарвлюючи папір у малиновий колір. За швидкістю переміщення малинового краю 5 можна судити про середню швидкість руху йонів під впливом електричного поля всередині електроліту.

Крім цього ефекту, описаного в [3] і який справді спостерігається, відбуваються також забарвлення електроліту біля катода і рух малинового краю 6 у напрямку анода. Цей ефект можна спостерігати і без натрій сульфату в розчині фенолфталеїну у воді, як у постановці досліду, відображеного на мал. 2, так і на мал. 1 з магнітом і без магніту.

Якщо у водний розчин фенолфталеїну покласти вздовж силових ліній електричного поля невеликий кусок мідного дроту, то через деякий час спостерігатимемо появу малинового забарвлення біля кінця дроту, ближчого до анода. Цей ефект дає змогу наочно продемонструвати учням індукцію – розподіл зарядів у нейтральному провіднику, розміщеному в електричному полі.

Фенолфталеїн є індикатором тільки на гідроксильну групу –ОН. Джерелом цих йонів можуть бути тільки молекули води. Відомо, що дистильована вода є поганим провідником: у ній розчинена лише невелика кількість домішок, а самі молекули води майже недисоційовані. Тобто під час зіткнення з катодом поляризована молекула води приєднує електрон, унаслідок чого виділяється водень, а гідроксильна група залишається у розчині і прямує до анода. Реакція фенолфталеїну вказує на поширення йонів ОН⁻ за деякий час.

Швидкість руху йонів v пропорційна напруженості поля E всередині електроліту. Отримати цю залежність можна з таких міркувань. Сила Кулона $F_k = eE$, яка спричиняє напрямлений рух йонів, через деякий час дорівнюватиме силі внутрішнього тертя йонів з поляризованими нейтральними молекулами води. Тому можна вважати її стоксовою силою тертя і тоді

$$eE = 3\pi\eta dv, \quad (2)$$

де η – коефіцієнт в'язкого тертя; d – ефективний діаметр йона. Звідси

$$v = \frac{eE}{3\pi\eta d}. \quad (3)$$

При заданому полі ($U = 12$ В, відстані між електродами $R = 4 \cdot 10^{-2}$ м) ця швидкість невелика і становить $10^{-4} - 10^{-5}$ м/с, що узгоджується з дослідом.

Тепер обчислюємо швидкість гідроксид-іонів ОН⁻ під дією магнітного поля (див. мал. 1). Крім сили Кулона у цьому випадку на рухому заряджену частинку в магнітному полі діє сила Лоренца.

Рух йонів спостерігатимемо за малиновою плямою, яка від стержня 2 розширюється до зовнішнього кільцевого електрода 1 по спіралі.

Дія сили Лоренца F_L та сила в'язкого тертя $F_{тр}$ призведе до того, що через деякий час після початку обертання дотична складова швидкості v_r на відстані r від центра обертання перестане змінюватися з часом.

Визначимо швидкість v_r , якщо $F_{тр} = F_L$, тобто

$$-\eta \frac{dv_r}{dr} S = QBv_r, \quad (4)$$

де заряд $Q = qn\pi r^2 h = \frac{I}{2\pi R h v_R} \cdot \pi r^2 h = \frac{I r^2}{2R v_R}$,

$S = 2\pi r h$; η – коефіцієнт в'язкого тертя.

Із (4) одержуємо диференціальне рівняння:

$$dv_r = -\frac{BI}{4\pi R h \eta} r dr. \quad (5)$$

Інтегруємо це рівняння з урахуванням того, що при $r \rightarrow R$ $v_r \rightarrow 0$. Отримуємо:

$$v_r = \frac{BI}{8\pi R h \eta} (R^2 - r^2). \quad (6)$$

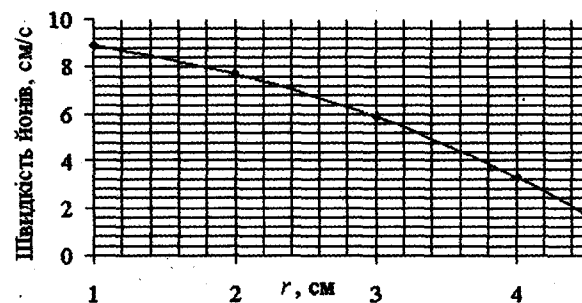
Результати розрахунку v_r залежно від r наведено в таблиці й на мал. 3 для вимірних величин $B = 0,02$ Тл; $h = 0,01$ м; $\eta = 0,001$ кг/(м·с).

Таблиця

Залежність швидкості ОН-іонів від відстані між електродами

r , см	1	2	3	4	4,5
v_r , см/с	8,9	7,7	5,9	3,3	1,7

Мал. 3. Графік залежності швидкості ОН-іонів v_r від



відстані між електродами

Тобто швидкість ОН-іонів за наявності магнітного поля зростає в $10^3 - 10^4$ разів. Уплив цього феномену на технологію електролізу – перспектива для подальших досліджень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Концепція Державної цільової соціальної програми підвищення якості шкільної природничо-математичної освіти на період до 2015 року // Фізика та астрономія в шк. – 2010. – № 11–12. – С. 3–5.
2. Финкельштейн Б. Я. Электрическая теория растворов сильных электролитов / Б. Я. Финкельштейн // Успехи физ. наук. – 1927. – Т. 7. – Вып. 6. – С. 483–493.
3. Элементарный учебник физики / [Под ред Г. С. Ландсберга]. – М., 2004. – Т. 1. – 661 с.