

Scientific journal  
**PHYSICAL AND MATHEMATICAL EDUCATION**  
 Has been issued since 2013.

ISSN 2413-158X (online)  
 ISSN 2413-1571 (print)

Науковий журнал  
**ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНА ОСВІТА**  
 Видається з 2013.

<http://fmo-journal.fizmatsspu.sumy.ua/>



*Здешиц В.М., Здешиц А.В., Прихожа Ю.О. Використання технології BYOD під час виконання лабораторних робіт з фізики. Фізико-математична освіта. 2020. Випуск 3(25). Частина 2. С. 43-49.*

*Zdeshchyts V.M., Zdeshchyts A.V., Prikhazha Yu.O. Use of BYOD technology during frontal laboratory work in physics. Physical and Mathematical Education. 2020. Issue 3(25). Part 2. P. 43-49.*

DOI 10.31110/2413-1571-2020-025-3-024

УДК 378.147: 371.214.46:[004.78:51]

**В.М. Здешиц**

Криворізький державний педагогічний університет, Україна

valeriy.zdeschits@kdpu.edu.ua

ORCID: 0000-0002-2404-8979

**А.В. Здешиц**

Криворізький державний педагогічний університет, Україна

bodehita@gmail.com

**Ю.О. Прихожа**

Криворізький державний педагогічний університет, Україна

prihozha.yuliya93@gmail.com

## ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ BYOD ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ З ФІЗИКИ

### АНОТАЦІЯ

Розглянута методика проведення фронтальних та дистанційних лабораторних робіт з фізики, яка використовує саморобні дослідницькі установки у поєднанні з технологією BYOD для визначення коефіцієнта поверхневого натягу рідини та перевірки рівняння Бернуллі.

**Формулювання проблеми.** BYOD (Bring your own devices) – це технологія, при якій на заняттях використовується обладнання, яке є «в кармані» сучасного студента: власні смартфони, планшети тощо. Це дає змогу розв'язати декілька важливих освітніх проблем, зокрема – проблему забезпечення закладів освіти сучасним вимірювальним обладнанням, яке, за рахунок постійного розвитку мобільних додатків, значно розширює межі освітнього процесу. Ця технологія стає максимально ефективною, якщо всі студенти забезпечені дослідницькими установками. Для розв'язання цієї проблеми необхідно розробити лабораторні установки, які кожен студент може самотужки виготовити.

**Матеріали і методи.** Поставлена мета вирішувалася за допомогою розроблених мініатюрних дослідницьких установок. Методологічно дослідження базувалися на відомих законах гідродинаміки, а її основні науково-практичні результати отримані з використанням відео- та фотореєстрації, цифрових технологій оброблення результатів експериментів. Для реєстрації зміни з часом рівня рідини та гранульованих матеріалів, довжини важеля, діаметра крапель використовувалися смартфони в режимі відео «slow motion» та «секундомір».

**Результати.** Розроблено фізичні установки для перевірки рівняння Бернуллі і визначення коефіцієнту поверхневого натягу рідини. Залежність швидкості витікання рідини з отвору від часу є квадратичною, що підтверджує справедливість рівняння Бернуллі. Швидкість висипання піску з отвору, на відміну від рідини, не залежить від його рівня в посудині, що пояснює принцип дії пісочного годинника.

**Висновки.** На прикладі лабораторних робіт «Перевірка рівняння Бернуллі» і «Визначення коефіцієнту поверхневого натягу рідини» доведено, що використання технології BYOD у поєднанні з розробленими установками дозволяє кожному студентові проводити повноцінні дослідження як в аудиторії, так і дистанційно, вдома. Точність вимірювань кінематичних параметрів і часу за допомогою сучасних девайсів дозволяє розрізнити навіть невелику відмінність законів течії скрізь отвір рідини від гранульованих матеріалів.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** фізичний експеримент, лабораторні роботи, технології BYOD, рівняння Бернуллі.

### ВСТУП

**Постановка проблеми.** Сьогодні зі стрімким розвитком мобільних додатків в освітньому процесі набувають актуальності технології BYOD (Bring your own devices) – технології, при яких на заняттях використовується обладнання, яке є «в кармані» сучасного студента, а саме, власні смартфони, планшети тощо. Це дає змогу розв'язати декілька важливих освітніх проблем, зокрема – проблему забезпечення закладів освіти сучасним вимірювальним обладнанням, яке, за рахунок постійного розвитку мобільних додатків, значно розширює межі освітнього процесу. Технологія BYOD стає максимально ефективною, якщо всі студенти забезпечені дослідницькими установками. Особливо це важко забезпечити

в умовах дистанційного навчання. Для розв'язання цієї проблеми необхідно розробити лабораторні установки, які кожен студент може самотужки виготовити. Як приклад реалізації цього принципу в даній статті розглядаються фізичні установки і методика проведення лабораторних робіт «Перевірка рівняння Бернуллі» і «Визначення коефіцієнту поверхневого натягу рідини» з використанням технології BYOD.

**Аналіз актуальних досліджень.** Відомо, що студенти легше усвідомлюють наукові поняття, коли вони безпосередньо беруть участь у навчанні через лабораторні експерименти або інші практичні заняття. Практичне чи експериментальне навчання також допомагає студентам усвідомити наукову теорію. Одним із способів залучення студентів до курсу класичної фізики є використання смартфонів для перевірки чи ілюстрування різноманітних концепцій, висвітлених у лекціях. Смартфони все частіше використовуються у закладах вищої освіти під час вивчення механіки, (Vogt&Kuhn, 2012; Madani, Ledenmat, Bsiesy&Chevrier, 2013), акустики (Hirth, Kuhn&Müller, 2015), термодинаміки (Vieyra, Vieyra&Macchia, 2017), оскільки вони надають унікальний спосіб проведення простого наукового експерименту. Сенсори смартфонів дозволяють вимірювати прискорення, тиск, освітленість, магнітні поля, нахил поверхні, величину шуму, його спектр. Смартфон можна використовувати як джерелом світла, звука. Крім цього, у смартфонів є опція slow motion, яка дозволяє реєструвати фізичні процеси у сповільненому темпі. Наприклад, у смартфона Huawei p20 Pro є можливість реєструвати фізичні процеси зі швидкістю 960 кадрів в секунду.

Отже, у цієї статті ми покажемо, як самотужки можна виготовити експериментальне обладнання і як використати смартфони для вимірювання коефіцієнтів поверхневого натягу різних рідин. Крім цього, перевіримо справедливості рівняння Бернуллі, продемонструвавши конструкцію експериментальної установки, виготовлену з матеріалів, які оточують нас.

**Мета статті.** Метою статті є висвітлення методики проведення фронтальних та дистанційних лабораторних робіт з фізики, яка використовує саморобні дослідницькі установки у поєднанні з технологією BYOD.

### ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Якщо рідина повільно витікає з нижнього отвору вузької вертикальної трубки, то утворюються краплини, які в момент відриву мають форму, зображену на рис. 1.

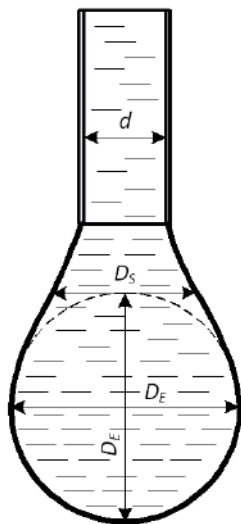


Рис. 1. Краплина рідини на кінці трубки

На краплину в момент відриву діє сила тяжіння  $mg$  і сила поверхневого натягу  $F_n = 2\pi r\sigma$ , які врівноважують одна одну:

$$mg = 2\pi r\sigma, \quad (1)$$

де  $r$  – радіус краплини в місці її розриву (це місце називають шийкою).

Діаметр шийки  $d = 2r$  приблизно дорівнює внутрішньому діаметру кінчика трубки, з якої витікає рідина. Взагалі форма краплини описується рівнянням Лапласа, де вага краплі і сил поверхневого натягу збалансовані. Розв'язок цього рівняння вимагає розрахункового аналізу, який використовується для високоточного вимірювання коефіцієнта поверхневого натягу. У нашому випадку, коли головним є ознайомлення студентів з методами вимірювання і суттю фізичного явища, можна вважати  $r$  – радіусом кінчика трубки. Знаючи  $d$  і  $m$ , визначаємо  $\sigma$ :

$$\sigma = \frac{mg}{2\pi r} = \frac{mg}{\pi d}. \quad (2)$$

Якщо не має можливості виміряти масу краплі, то коефіцієнт поверхневого натягу можна визначити за формулою (Adamson, 1967):

$$\sigma = \frac{\Delta\rho g D_E^2}{H}, \quad (3)$$

де  $\Delta\rho$  – різниця густини між рідиною і повітрям,  $g$  – прискорення вільного падіння ( $g = 9,81 \text{ м / с}^2$ ),  $D_E$  – максимальним діаметром краплі перед падінням (див. рис. 1). Величину  $1/H$  можна розуміти як форм-фактор, обумовлений витягнутою формою краплі, який розраховується за формулою (Adamson, 1967):

$$\frac{1}{H} = 0,345 \left( \frac{D_S}{D_E} \right)^{-2,5}, \quad (4)$$

Значення  $D_S$  визначається діаметром краплі на відстані  $D_E$  від дна краплі (див. рис. 1).

Отже, за формулою (3) можна отримати значення коефіцієнта поверхневого натягу шляхом вимірювання діаметрів краплі лінійкою безпосередньо на екрані смартфона.

Для визначення залежності коефіцієнта поверхневого натягу рідини від температури у даній роботі застосовується метод важеля, роль якого виконує прямолінійний алюмінієвий дріт. Дріт виконує дві функції: він є вагами і водночас аналогом дрютної рамки, яку зазвичай витягують з рідини для вимірювання коефіцієнту її поверхневого натягу. Рівень рідини встановлюють на 1-1,5 мм нижче гострого краю посудини. При торканні води дрітом утворюється тонка плівка рідини завширшки  $x$  (рис. 2).

Вздовж поверхні плівки діє сила поверхневого натягу  $\vec{F}_n$ , модуль якої дорівнює:

$$F_n = 2x\sigma \quad (5)$$

де  $\sigma$  – коефіцієнт поверхневого натягу. Множник 2 з'являється тому, що плівка має дві поверхні.

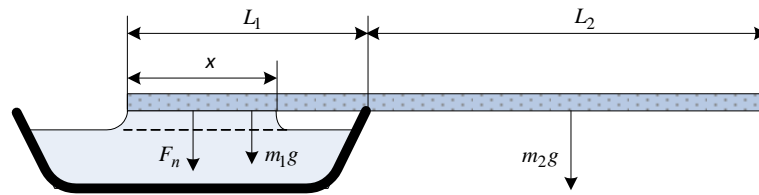


Рис. 2. Схема установки для вимірювання коефіцієнта поверхневого натягу

Нехай  $m$  - маса дроту,  $L = L_1 + L_2$  - довжина дроту,  $m/L$  — маса одиниці довжини дроту. Запишемо умову рівноваги дроту щодо краю ємкості, тобто рівність моментів сил:

$$F_n \left( L_1 - \frac{x}{2} \right) + m_1 g \frac{L_1}{2} = m_2 g \frac{L_2}{2}. \quad (6)$$

Підставимо в (6) силу поверхневого натягу (5), маси:  $m_1 = \frac{L_1 m}{L}$ ,  $m_2 = \frac{L_2 m}{L}$ ,  $m = \rho V = \frac{\rho \pi d^2 L}{4}$  і виразимо коефіцієнт поверхневого натягу  $\sigma$ . Вимірювання і обчислення спростяться, якщо вода змочуватиме всю довжину  $L_1$ . Тоді остаточно отримаємо розрахункову формулу:

$$\sigma = \frac{\rho \pi d^2 g}{8} \frac{L}{L_1} \left( \frac{L}{L_1} - 2 \right). \quad (7)$$

Величини  $L$  та  $L_1 = L - L_2$  вимірюються лінійкою, а діаметр дроту  $d$  - мікрометром. При відсутності мікрометра значення  $x$  та  $d$  визначаємо за допомогою смартфона, фотографуючи установку, зображену на рис. 2, на фоні лінійки.

Якщо у посудину налити гарячу рідину, наприклад, воду, тоді через деякий час температура води буде знижуватися, що вплине на величину коефіцієнта поверхневого натягу. Найбільш відома емпірична залежність коефіцієнта поверхневого натягу від температури, яка була запропонована Лорандом Етвешем (рис. 3). Ця залежність підтверджена у наш час теоретичними дослідженнями (Хайдаров, Машек, Майоров, 2012).

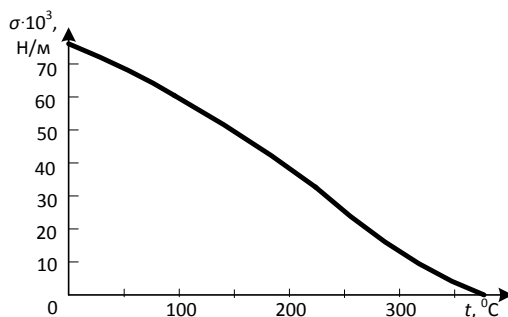


Рис. 3. Залежність поверхневого натягу води від температури

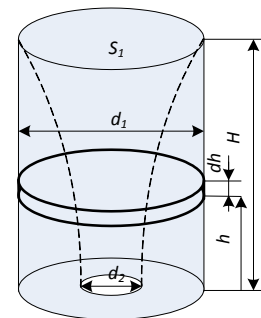


Рис. 4. Розрахункова схема

Третя лабораторна робота, яка розглядається як об'єкт для дистанційного навчання фізики, присвячена перевірці справедливості рівняння Бернуллі. Відшукаємо теоретичну залежність рівня води від часу її витікання з циліндра висотою  $H$  та площиною поперечного перерізу  $S_1$ , наповненого до країв рідиною (рис. 4). Задамося питанням: за який час уся рідина вилітєть через отвір  $S_2$  в дні циліндра? В'язкість рідини не враховуємо.

Рівняння Бернуллі для цього випадку має вигляд:

$$\frac{\rho v_1^2}{2} + \rho g h = \frac{\rho v_2^2}{2}, \quad (8)$$

де  $\rho$  — густина рідини,  $v_1$  — швидкість руху площини  $S_1$ ,  $v_2$  — швидкість рідини в отворі  $S_2$ .

З врахуванням рівняння нерозривності течії:

$$S_1 v_1 = S_2 v_2 \quad (9)$$

рівняння Бернуллі буде мати вигляд:

$$\frac{\rho v_2^2}{2} \left( \frac{S_2}{S_1} \right)^2 + \rho g h = \frac{\rho v_2^2}{2}. \quad (10)$$

Тобто швидкість витікання рідини з отвору буде дорівнювати:

$$v_2 = \sqrt{\frac{2gh}{1 - (S_2/S_1)^2}}. \quad (11)$$

Елементарний об'єм рідини  $dV$ , що витікає з отвору за час  $dt$ , дорівнює  $dV = S_2 v_2 dt$ . З іншого боку  $dV = -S_1 dh$ .

Тому

$$dV = -S_1 dh = S_2 v_2 dt = S_2 \cdot \sqrt{\frac{2gh}{1 - (S_2/S_1)^2}} \cdot dt. \quad (12)$$

Тобто час витікання рідини з отвору буде дорівнювати:

$$t = \int_0^t dt = -\frac{S_1}{S_2} \sqrt{\frac{1-(S_2/S_1)^2}{2g}} \times \int_H^h \frac{dh}{\sqrt{h}} = 2 \cdot \frac{S_1}{S_2} \sqrt{\frac{1-(S_2/S_1)^2}{2g}} (H^{1/2} - h^{1/2}) = 2 \cdot \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2 \sqrt{\frac{1-(d_2/d_1)^4}{2g}} (H^{1/2} - h^{1/2}). \quad (13)$$

З умови  $h=0$ , загальний час витікання рідини дорівнює:

$$t = 2 \cdot \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2 \sqrt{\frac{1-(d_2/d_1)^4}{2g}} \cdot H. \quad (14)$$

Тобто, для відношення діаметрів  $d_1/d_2 = 14$  та  $H = 10$  см час витікання рідини  $\approx 30$  с. Якщо  $d_1 \gg d_2$ , то

$$t = \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2 \sqrt{\frac{2}{g}} \times (H^{1/2} - h^{1/2}). \quad (15)$$

Звідки рівень рідини під час витікання скрізь отвір в посудині визначається формулою:

$$h = \left[ \sqrt{H} - \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2 \sqrt{\frac{g}{2}} \times t \right]^2. \quad (16)$$

З цього робимо висновок: рівняння залежності рівня рідини від часу є квадратичним.

### МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Отже, робота носить теоретичний та прикладний характер. Методологічно робота базувалася на відомих законах фізики, а її основні науково-практичні результати отримані з використанням відеореєстрації та цифрових технологій обробки результатів експериментів. Коефіцієнт поверхневого натягу рідини визначався статичними методами – за формою висячої краплі, а також методом важеля. Для перевірки справедливості рівняння Бернуллі використовувалися закони гідродинаміки.

### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для отримання крапель був виготовлений пристрій (рис. 5 а), який складався з невеликої прозорої пляшки, в кришку якої вставлявся корпус 20 мл або 50 мл шприца.



а)



б)

Рис. 5. Дослідницька установка для дистанційного проведення лабораторних робіт

Наконечник кулькової ручки без кульки вставлявся в отвір конуса-наконечника шприца (рис. 5 б). Внутрішній діаметр виготовленої таким чином випускної трубки склав  $d = 0,84$  мм. Вимірювання внутрішнього діаметра трубки виконувалося за допомогою смартфона. Для чого спочатку фотографувався торець трубки та вимірювався мікрометром його зовнішній діаметр ( $d_{\text{зовн.}} = 2,11$  мм), а потім з порівняння діаметрів на збільшеному фото визначався внутрішній діаметр. Аналогічно вимірювалися геометричні параметри крапель. Результати вимірювань наведено в табл. 1. Цей пристрій (без наконечника кулькової ручки) використовувався також для перевірки справедливості рівняння Бернуллі та дослідження закону течії скрізь отвір гранульованих матеріалів.

Таблиця 1

Результати вимірювання значення коефіцієнта поверхневого натягу  $\sigma$

Рідина	$D_E$ , мм	$D_S$ , мм	$D_E / D_S$	Густина рідини, кг/м <sup>3</sup>	$\sigma$ (при 30°C), мН/м	Табличне значення $\sigma$ (при 20°C), мН/м
Вода	3,4	2,7	1,26	1000	$68 \pm 3$ (10 краплин)	72.8
Олія сонячна рафінована	2.765	2,33	1,1875	930	$37 \pm 3$ (10 краплин)	32-44
Етанол	0.8			780	$22 \pm 2$ (10 краплин)	23

Для вимірювання коефіцієнта поверхневого натягу рідини методом важеля (рис. 2) використовувався алюмінієвий дріт (густина  $\rho = 2700$  кг/м<sup>3</sup>) оптимальної довжиною, як показали експерименти,  $L = 15$  см та діаметром  $d = 1,77$  мм. При температурі води 30°C отримано  $L_1 = 5,4$  см, тобто за формулою (7) коефіцієнт поверхневого натягу  $\sigma = 70 \pm 2$  мН/м, що

близько до табличного значення коефіцієнта поверхневого натягу води при кімнатній температурі та узгоджується з результатами, отриманими методом відриву краплини. Залежність коефіцієнта поверхневого натягу води від температури наведена в табл. 2.

Таблиця 2

Результати вимірювання значення коефіцієнта поверхневого натягу  $\sigma$  в залежності від температури

$t, ^\circ\text{C}$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$\sigma, \frac{\text{мН}}{\text{м}}$	75,5	74,4	72,9	71,2	69,5	67,8	66,1	64,4	62,7	60,8	58,9

Для виконання третьої лабораторної роботи також використовується технологія BYOD. Для реєстрації залежності висоти рівня рідини в посудині з отвором від часу використовуються смартфони в режимі відео і секундоміра (див. рис. 5а). Результати експериментів відображено на графіку рис. 6.

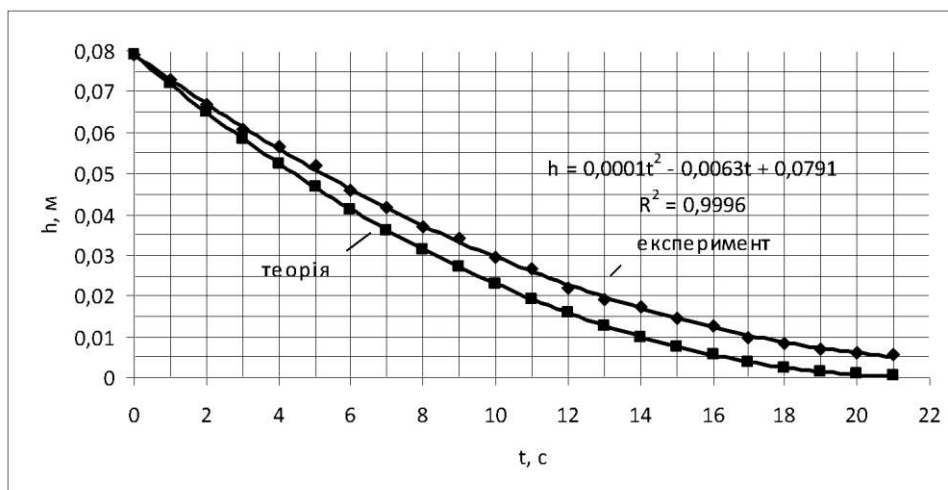


Рис. 6. Графік залежності рівня води від часу для 50 мл шприца ( $d_1 = 28,7$  мм,  $d_2 = 2,2$  мм)

## ОБГОВОРЕННЯ

Як видно з табл. 1 результати вимірювання значення коефіцієнта поверхневого натягу за допомогою смартфона збігаються з табличними значеннями  $\sigma$ . Тобто, дослідницька установка, яку самотужки може виготовити кожен студент, дозволяє дистанційно виконати лабораторну роботу з достатньою для освітнього процесу точністю.

Як видно з табл. 2 результати вимірювання значення коефіцієнта поверхневого натягу збігаються з наведеним на рис. 3 графіком  $\sigma = f(t)$ . Отже, і цю установку студент може самостійно виготовити і виконати лабораторну роботу дистанційно.

Як видно з експериментального графіка (рис. 6) рівняння залежності рівня води від часу є квадратичним, що підтверджує справедливості рівняння Бернуллі. Для освітніх цілей це є дуже цікавим висновком. Можна акцентувати увагу студентів на тому, що завдяки не лінійності графіка водяні часи – клепсидри – не витримали конкуренції з пісочними, у яких характеристика повинна бути лінійною. Ерсель (Yersel, 2000) звернув увагу, що довести це можна шляхом аналізу розмірності. Потік зернистого (гранульованого) матеріалу густиною  $\rho$ , внаслідок дії гравітаційного поля Землі напруженістю  $g$ , при відкритті отвору в посудині площею  $S = \pi D^2$ , буде визначатися виразом:

$$\frac{dm}{dt} = k\rho\sqrt{g}S^{5/4}. \quad (17)$$

де  $k$  – константа.

Визначивши розмірність кожного елемента цього виразу:

$$M^1T^{-1} = (M^1L^{-3})^a (L^1T^{-2})^b (L^1)^c = M^aT^{-2b}L^{-3a+b+c}$$

отримаємо систему рівнянь:

$$\begin{aligned} a &= 1, \\ -1 &= -2b, \\ -3a + b + c &= 0. \end{aligned}$$

Розв'язавши систему, визначимо значення параметрів:  $a = 1$ ,  $b = 0,5$ ,  $c = 2,5$ . Отже,

$$\frac{dm}{dt} = C\rho^1g^{1/2}D^{5/2} = k\rho\sqrt{g}S^{5/4}. \quad (18)$$

Тобто, на протидію рідині витрата, наприклад, піску буде величиною постійною у часі і не залежить від його висоти. Доведення справедливості цього висновку можливо також на установці, зображеної на рис. 5 а. Результати досліджень з цукровим піском як гранульованого матеріалу відображені на графіку рис. 7.

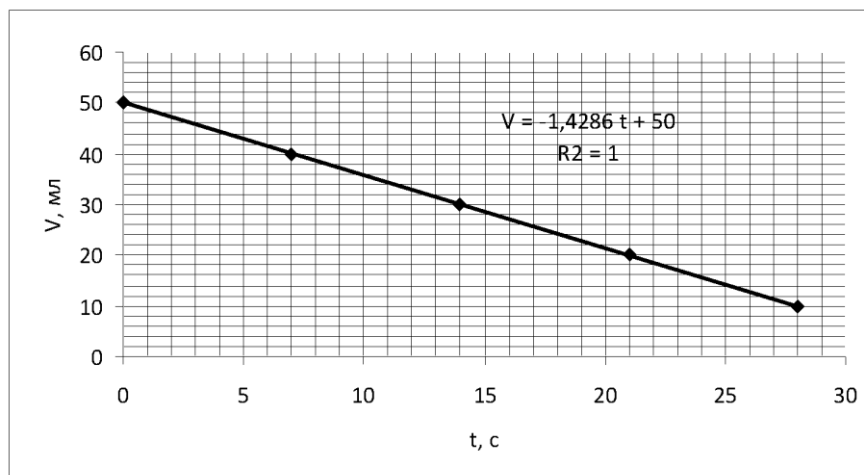


Рис. 7. Залежність об'єму цукрового піску у 50 мл шприці від часу висипання через отвір діаметром 5 мм

#### ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

На прикладі лабораторних робіт «Перевірка рівняння Бернуллі» і «Визначення коефіцієнту поверхневого натягу рідини» доведено, що використання технології BYOD у поєднанні з розробленими установками дозволяє кожному студентові проводити повноцінні досліди як в аудиторії фронтально, так і дистанційно, вдома. Точність вимірювань кінематичних параметрів і часу за допомогою сучасних девайсів дозволяє розрізнити навіть невелику відмінність законів течії скрізь отвір рідини від гранульованих матеріалів.

Розбіжність теоретичного і експериментального графіків на рис. 6 можна пояснити не врахуванням в'язкості рідини. Тому цю тему можна продовжити і запропонувати студентам з'ясувати чи є цей фактор дійсно ключовим для пояснення розбіжності або потрібно шукати ще й інші пояснення.

#### Список використаних джерел

1. Adamson A.W. *Physical Chemistry of Surfaces*, 2Rev Ed Edition.: Interscience Publishers, 1967. 767 p.
2. Хайдаров Г. Г., Хайдаров А. Г., Машек А. Ч., Майоров Е. Е. Влияние температуры на поверхностное натяжение. *Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 4. Физика. Химия*. 2012. Выпуск 1. С. 24-28.
3. Hirth M., Kuhn J., Müller A. Measurement of sound velocity made easy using harmonic resonant frequencies with everyday mobile technology. *The Physics Teacher*. 2015. Vol. 53(2). P. 120-121. DOI: 10.1119/1.4905819.
4. Vieyra R. E., Vieyra C., Macchia S. Kitchen physics: Lessons in fluid pressure and error analysis. *The Physics Teacher*. 2017. Vol. 55(2). P. 87-90. DOI: 10.1119/1.4974119.
5. Vogt P., Kuhn J. Analyzing free fall with a smartphone acceleration sensor. *The Physics Teacher*. 2012. Vol. 50. P. 182-183. DOI: 10.1119/1.3685123.
6. Vogt P., Kuhn J. Analyzing simple pendulum phenomena with a smartphone acceleration sensor. *The Physics Teacher*. 2012. Vol. 50. P. 439-440. DOI: 10.1119/1.4752056.
7. Yersel M. The flow of sand. *The Physics Teacher*. 2000. Vol. 38(5). P. 290-291. DOI: 10.1119/1.880534.

#### References

1. Adamson A.W. (1967). *Physical Chemistry of Surfaces*, 2Rev Ed Edition. Interscience Publishers.
2. Hajdarov G. G., Hajdarov A. G., Mashek A. Ch., & Majorov Ye. Ye. (2012). Vliyanie temperatury na poverhnostnoye natjazhenie [Effect of temperature on surface tension]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Seriya 4. Fizika. Himiya - Bulletin of St. Petersburg University. Series 4. Physics. Chemistry*, 1, 24-28 [in Russian].
3. Hirth M., Kuhn J., & Müller A. (2015). Measurement of sound velocity made easy using harmonic resonant frequencies with everyday mobile technology. *The Physics Teacher*, 53(2), 120-121. <https://doi.org/10.1119/1.4905819>.
4. Vieyra R. E., Vieyra C., & Macchia S. (2017). Kitchen physics: Lessons in fluid pressure and error analysis. *The Physics Teacher*, 55(2), 87-90. <https://doi.org/10.1119/1.4974119>.
5. Vogt P. & Kuhn J. (2012). Analyzing free fall with a smartphone acceleration sensor. *The Physics Teacher*, 50, 182-183. <https://doi.org/10.1119/1.3685123>.
6. Vogt P. & Kuhn J. (2012). Analyzing simple pendulum phenomena with a smartphone acceleration sensor. *The Physics Teacher*, 50, 439-440. <https://doi.org/10.1119/1.4752056>.
7. Yersel M. (2000). The flow of sand. *The Physics Teacher*, 38(5), 290-291. <https://doi.org/10.1119/1.880534>.

#### USE OF BYOD TECHNOLOGY DURING FRONTAL LABORATORY WORK IN PHYSICS

V.M. Zdeschchys, A.V. Zdeschchys, Yu.O. Prikhozha  
Kryvyi Rih State Pedagogical University, Ukraine

**Abstract.** The method of conducting frontal and remote laboratory work in physics is considered. Execution of the experiment involves the use of homemade research facilities in combination with BYOD technology. The method of laboratory work "Determination of the coefficient of surface tension of the liquid" and "Verification of the Bernoulli equation" are described.



**Formulation of the problem.** BYOD (Bring your own devices) - learning technology in which classes use equipment that is "in the pocket" of the modern student: own smartphones, tablets, and more. BYOD allows us to solve several important educational problems, in particular - the problem of providing educational institutions with modern measuring equipment, which, due to the constant development of mobile applications, significantly expands the boundaries of the educational process. This technology becomes most effective if all students are equipped with research facilities. Solving this problem requires the development of laboratory facilities that each student can make on their own.

**Materials and methods.** This goal was achieved with the help of developed miniature research facilities. Methodologically, the research was based on the known laws of hydrodynamics, and its main scientific and practical results were obtained using video and photo recording, digital technologies for processing the results of experiments. Slow-motion and stopwatch smartphones were used to register changes in the level of liquid and granular materials, lever length, and droplet diameter over time.

**Results.** Physical settings have been developed to test the Bernoulli equation and determine the coefficient of surface tension of a liquid. The dependence of the velocity of fluid flow from the hole on time is quadratic, which confirms the validity of the Bernoulli equation. The rate of pouring sand from the hole, in contrast to the liquid, does not depend on its level in the vessel, which explains the principle of operation of the hourglass.

**Conclusions.** On the example of laboratory works "Checking the Bernoulli equation", "Determination of the coefficient of surface tension of the liquid" it is proved that the use of BYOD technology in combination with the developed installations allows each student to conduct full experiments both within the classroom and remotely at home. The accuracy of measurements of kinematic parameters and time with the help of modern devices allows distinguishing even a small difference between the laws of flow everywhere the hole of the liquid from the granular materials.

**Keywords:** physical experiment, laboratory work, BYOD technologies, Bernoulli equation, the surface tension of a liquid.