

О. С. Воронкін

МЕТОДИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ДАТЧИКІВ СМАРТФОНУ В ШКІЛЬНОМУ ЛАБОРАТОРНОМУ ПРАКТИКУМІ З ФІЗИКИ (НА ПРИКЛАДІ RHYRHOX)

Анотація. У статті акцентовано увагу на використанні датчиків смартфона: акселерометра, гіроскопа, магнітометра, датчика освітленості, мікрофона, барометра та інших в учнівських STEM-проектах. Запропоновано часткове розв'язання проблеми застарілості матеріально-технічної бази шкільних кабінетів фізики через проведення лабораторних робіт у застосунку Rhyrnox і 3D-друк допоміжних елементів, попередньо розроблених у середовищі моделювання Tinkercad. Rhyrnox був розроблений в Університеті RWTH Aachen. Застосунок дає змогу на основі даних, що надходять з датчиків смартфона, створити повноцінний лабораторний комплекс і проводити нетривіальні експерименти, а також зберігати масиви даних для подальшої інтерпретації. Визначено такі особливості застосунку Rhyrnox: наявність готових фізичних експериментів, можливість створення власних експериментів, опрацювання й унаочнення даних із датчиків смартфона в режимі реального часу, підтримка експорту результатів експерименту у файли різних форматів (csv, xls). Rhyrnox може керуватися дистанційно з будь-якого пристрою, що перебуває в тій самій мережі, що й смартфон, і має веббраузер. Як приклад розглянуто типові фізичні експерименти, що пропонуються у Rhyrnox, й авторські ініціативи, як-от: встановлення залежності між освітленістю і збільшенням відстані до джерела світла, встановлення закону руху підвісної гойдалки на основі даних акселерометра, визначення ваги пасажирів в кабіні рухомого ліфта, встановлення функції, за якою рівень звуку змінюється зі збільшенням відстані від джерела звуку, дослідження резонансних явищ повітря залежно від об'єму порожнини, визначення швидкості руху радіокерованої моделі (на прикладі ефекту Доплера). Перспективним напрямом є проведення лабораторних робіт з використанням зовнішніх датчиків, підключених до платформ Arduino, із синхронізацією зі смартфоном через Bluetooth, що потребує подальших навчально-методичних розробок.

Ключові слова: STEM-освіта, датчики, смартфон, експеримент.

Постановка проблеми. Осучаснення освітнього процесу в закладах загальної середньої освіти України актуалізує питання відкриття при них STEM-центрів (лабораторій), де здобувачі освіти мали б змогу проводити експерименти й лабораторні роботи з природничих наук, виконувати інтегровані освітні проекти, в тому числі вимірюючи фізичні величини через підключення різних датчиків — вологості,

температури, освітленості, тиску тощо. На жаль, не кожен заклад загальної середньої освіти нині може пишатися STEM-центром. Ще однією проблемою є застарілість лабораторного устаткування навчальних кабінетів природничо-математичних предметів, оновлення яких пов'язане зі значними матеріальними витратами, які не можуть собі дозволити більшість закладів загальної середньої освіти.

Водночас кожен учень має мобільний пристрій (смартфон, планшет) із функціями керування

жестами, автоматичної зміни яскравості екрана, відстеження фізичної активності. Ці та багато інших функцій були б неможливі без спеціальних датчиків, вбудованих у сучасний смартфон, що послужило ідеєю розглянути їх як перспективний інструмент не тільки для різноманітних освітніх, а й для наукових проєктів. Так у 2016 р. з метою виявлення космічних променів і пошуку темної матерії польськими вченими було започатковано проєкт зі створення розподіленої обсерваторії космічних променів CREDO (англ. Cosmic Ray Extremely Distributed Observatory). Завдяки наявності світлочутливого сенсора і GPS-модуля смартфон із встановленим застосунком CREDO Detector стає складником у розподіленій мережі детекторів зі смартфонів волонтерів [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій зарубіжних та вітчизняних науковців та педагогів-практиків, як-от: П. Ваттанайотін, П. Воґт, У. Делябр, А. Здещиц, В. Здещиц, О. Колесникова, В. Колмакова, Дж. Кун, Л. Педросо, С. Пудова, Л. Раденкович, С. Саваренюк, І. Сальник, Г. Скрипка, О. Слободяник, К. Стампфер, С. Стек, А. Стьопкін, С. Терещук, С. Хатц, С. Хеммані, І. Чернецький та багатьох інших дає змогу визначити перспективний підхід до оновлення лабораторного фізичного практикуму через використання датчиків, вбудованих або під'єднаних до мобільного пристрою (смартфону, планшета).

Мета статті — проаналізувати призначення основних датчиків смартфона, висвітлити методичні особливості їх застосування в лабораторному практикумі з фізики за допомогою мобільного застосунку Rhyrphox.

Виклад основного матеріалу. Стисло розглянемо основні датчики смартфонів та їх призначення.

Акселерометр — це мікроелектромеханічна система (МЕМС), що фіксує прискорення переміщення смартфона в просторі. Основою найпоширенішого варіанта побудови МЕМС-акселерометра є п'єзоелектрик, що дає змогу виміряти прискорення як силу, що діє на масу зразка за трьома вимірами: x , y , z (рис. 1). Як приклад на рис. 2 наведені дані акселерометра, коли смартфон лежить нерухомо на горизонтальній площині, а також коли смартфон лежить на пральній машинці, що працює.

Акселерометр у смартфоні може застосовуватися для підрахунку зроблених кроків, перемикання музичних треків під час струшування, розпізнавання рухів під час гри. Наприклад,

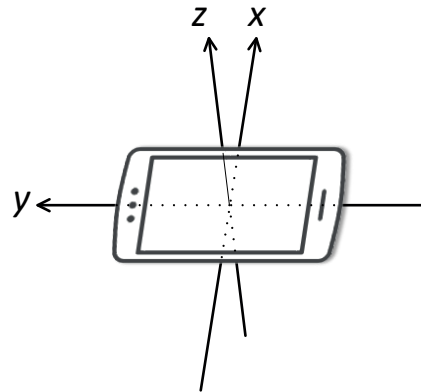


Рис. 1. Орієнтація смартфона відносно трьох координатних осей

можна керувати автомобілем у бажаному напрямку, нахиливши смартфон. Також дані акселерометра застосовуються для зміни орієнтації екрана з портретної на ландшафтну і навпаки — залежно від розташування пристрою.

Гіроскоп — це МЕМС, що реагує на зміну кутів повороту навколо трьох осей координат: x , y , z (рис. 3). Одночасне опрацювання масиву даних гіроскопа й акселерометра дає програмному забезпеченню змогу визначити рух смартфона вгору, вниз, вперед, назад, праворуч і ліворуч, а також кути його нахилу й повороту. Широко застосовується для оптичної стабілізації в камерах, мобільних іграх, а також для визначення відстаней між об'єктами на місцевості.

Геоманітний датчик (магнітометр) — датчик, призначений для вимірювання магнітної індукції уздовж осей x , y і z . Магнітометр можна використовувати як металошукач або електронний компас. Деякі застосунки з картографування використовують його в комплексі із системою GPS та акселерометром під час побудови навігаційних маршрутів.

Датчик наближення — дає змогу визначити перешкоду перед собою і відстань до неї. Це інфрачервоний випромінювач із приймачем. Коли на приймач не потрапляє випромінювання — перешкода відсутня, а коли надходить — перешкода, від якої відбивається промінь, є. Цей датчик дає можливість відключати дисплей, коли користувач підносить смартфон до вуха під час розмови.

Датчик освітленості — дає змогу обчислити рівень зовнішньої освітленості. На основі його даних смартфон змінює яскравість екрана залежно

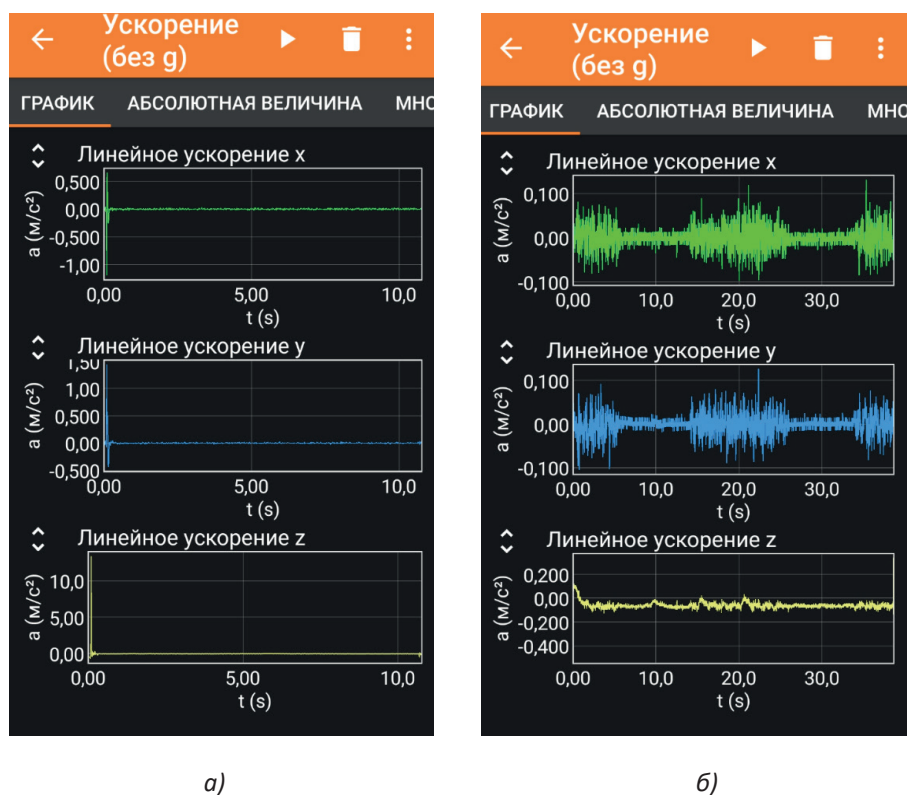


Рис. 2. Реєстрація прискорень у застосунку Phyrphox:
 а) дані акселерометра, коли смартфон лежить нерухомо на горизонтальній площині;
 б) дані акселерометра, коли смартфон лежить на пральній машинці, що працює

від рівня загальної освітленості. У деяких моделях застосовується RGB-сенсор, здатний вимірювати інтенсивність трьох кольорів (червоного, зеленого і синього) для подальшого налаштування зображення на дисплеї або для коригування балансу білого під час фотографування.

Датчик Холла — датчик, що фіксує магнітне поле і вимірює його напруженість. Програмне забезпечення, яке використовує датчик, дає змогу визначити — відкритий чи закритий чохол з магнітним фіксатором, реагуючи на зміну магнітного поля, і вмикає або вимикає дисплей.

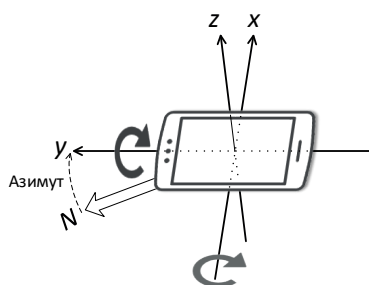


Рис. 3. Обертання смартфона відносно OX та OY

Барометр — датчик для вимірювання атмосферного тиску, зміна якого дає змогу визначати висоту. У парі із системою GPS використовується для визначення точного місцезнаходження. Барометр встановлюють лише на флагманські моделі смартфонів.

Датчик вологості — використовується для вимірювання вологості повітря.

Термометр — для вимірювання температури модулів смартфона.

Обирати відповідні датчики смартфонів дають змогу такі застосунки, як Sensor Data Logger, Sensor box for Android, Sensors multitooll, Andro sensor та ін. Вони відображають результати просто на дисплеї смартфона. Однак існує низка задач, під час розв'язання яких учні не мають доступу до своїх гаджетів. Наприклад, смартфон може бути закріпленим у маятникових установках [2; 3], установках із дослідження обертового руху [4] тощо. Одним із застосунків, який дає змогу в режимі реального часу передавати дані з датчиків на комп'ютер (ноутбук, планшет, інший смартфон тощо) за допомогою вебінтерфейсу і зберігати масиви даних,

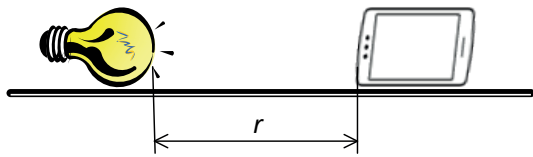


Рис. 4. Приклад використання датчика освітленості смартфона в лабораторній роботі

є Phyphox (RWTH Aachen University). Застосунок є безкоштовним, і розроблений він для використання з пристроями Android та iOS. Зупинимося на прикладах і методичних особливостях використання датчиків для проведення лабораторних робіт з фізики в застосунку Phyphox.

Приклад використання датчика освітленості.

Встановимо функцію, за якою освітленість змінюється зі збільшенням відстані до джерела світла. Для цього в темній кімнаті увімкнемо джерело світла, наприклад яскравий світлодіод або лампочку. Датчик смартфона скеруємо по лінії до джерела світла. Зі збільшенням відстані r будемо фіксувати відповідні значення освітленості E (рис. 4).

Результат для використаного нами як джерело світла світлодіодного прожектора зведено в табл. 1. За отриманими точками відтворимо графік залежності освітленості від відстані до джерела світла. Аналіз графіка настановлює на висновок, що при віддаленні датчика від джерела світла освітленість E зменшується не лінійно, а обернено пропорційно (рис. 5).

Ще одним прикладом роботи є порівняння освітленості від світлодіодних, люмінесцентних ламп і ламп розжарювання.

Приклади використання акселерометра.

Встановимо графік руху підвісної гойдалки. Для цього на її сидіння покладемо смартфон, як це зображено на рис. 6. У застосунку Phyphox виберемо датчик «дані з акселерометра (без врахування прискорення вільного падіння g)», виведемо гойдалку з положення рівноваги й увімкнемо режим вимірювання. Застосунок відтворює графіки лінійного прискорення за x , y , z .

Складемо рівняння залежності координати змінної y від часу t . З рис. 6 бачимо, що проекція

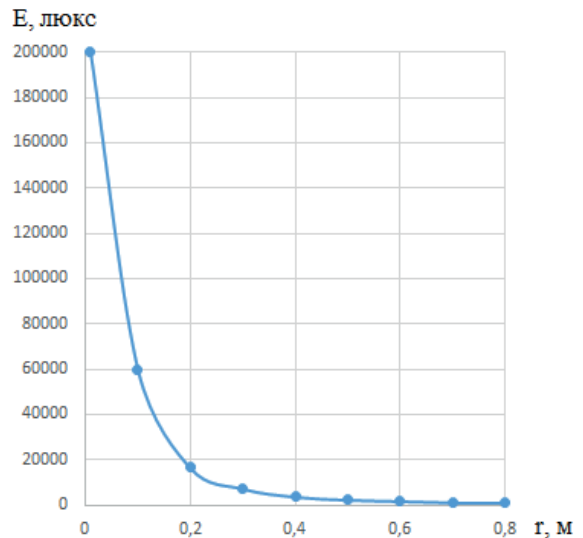


Рис. 5. Графік залежності освітленості від відстані до джерела світла, побудований в Excel

прискорення на вісь OY змінюється в часі за гармонічним законом. Напишемо рівняння:

$$\begin{cases} y = A \sin(\omega t), \\ v_y = A \omega \cos(\omega t), \\ a_y = -A \omega^2 \sin(\omega t). \end{cases} \quad (1)$$

За графіком $a_y = f(t)$ встановимо

$a_{y,max} = 1,9 \text{ м/с}^2$ та період коливання $T = 2,0 \text{ с}$.

Отже, $\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{2} = \pi \text{ рад/с}$, амплітуда коливання

$$A = \frac{a_{y,max}}{\omega^2} = \frac{1,9}{\pi^2} = 0,2 \text{ м}.$$

$$\begin{cases} y = 0,2 \sin(\pi t) \\ v_y = 0,2\pi \cos(\pi t) \\ a_y = -0,2\pi^2 \sin(\pi t). \end{cases} \quad (2)$$

Задаємо ці рівняння в MathCad і проведемо моделювання. Як бачимо, графік проєкції прискорення $a_y = f(t)$, зображений на рис. 7, в, ідентичний графіку, отриманому в застосунку Phyphox. Отже, ми визначили реальний графік коливань гойдалки вздовж осі OY (рис. 7, а), описавши його рівняннями 2.

Таблиця 1

Результати визначення освітленості від відстані до джерела світла

r , м	0,01	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
E , люкс	200000	60000	16000	7300	3700	2400	1800	1200	1000

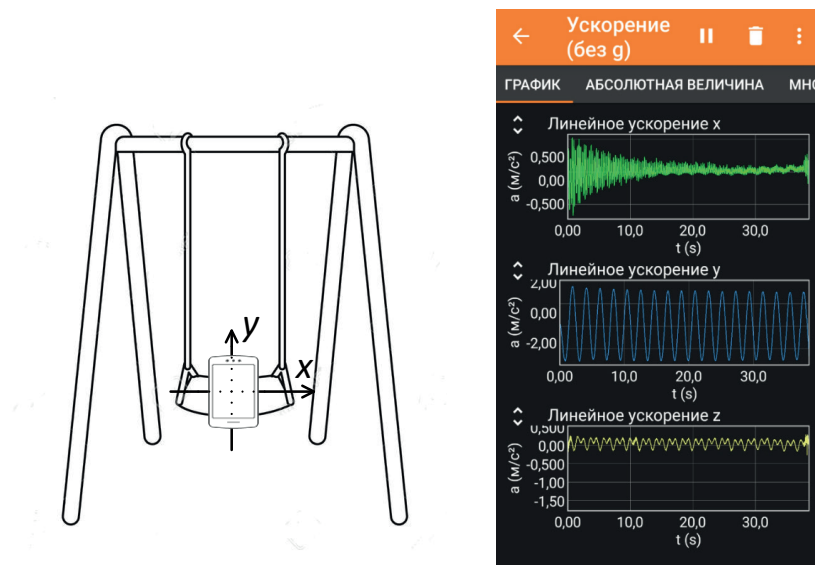


Рис. 6. Приклад використання акселерометра для побудови графіка руху гойдалок

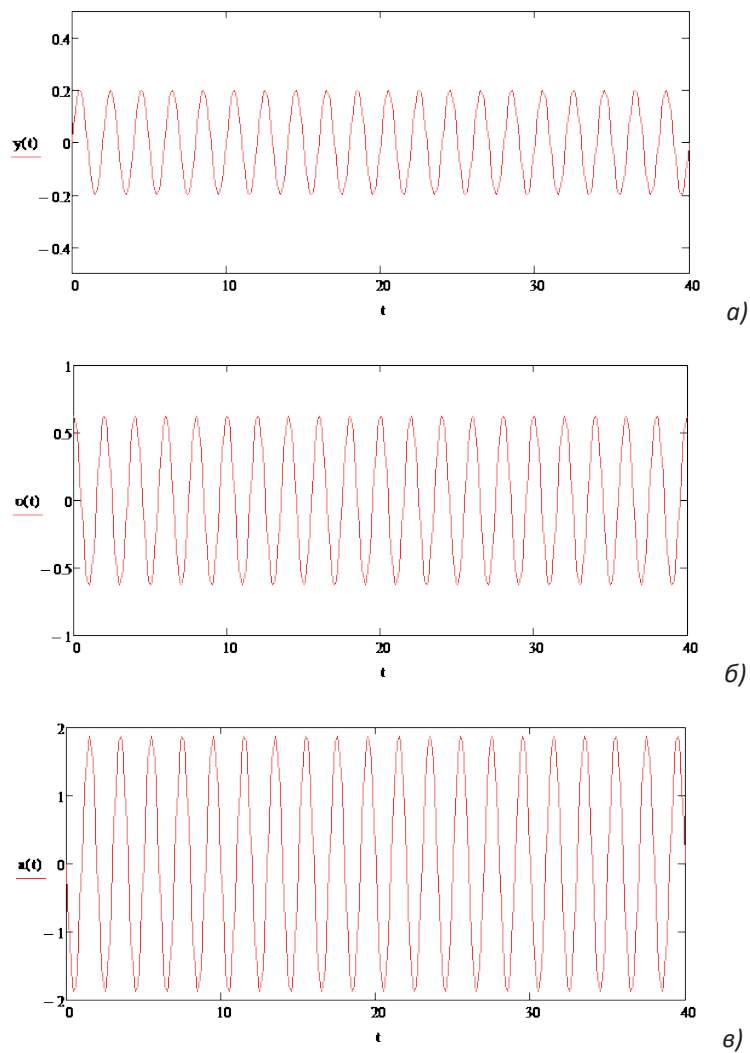


Рис. 7. Графіки зміщення (а), швидкості (б) і прискорення (в), отримані в MathCad

	A	B	C	D
1	Time (s)	Acceleration x (m/s ²)	Acceleration y (m/s ²)	Acceleration z (m/s ²)
2	0,007165523	0,160124213	-0,0609468	9,745406151
3	0,011135836	0,163667634	-0,061799135	9,746891022
4	0,015106148	0,151897728	-0,047606308	9,719721794
5	0,019076461	0,158898383	-0,05968266	9,771004677
6	0,023046773	0,159865633	-0,048161764	9,77131176
7	0,027017086	0,151754081	-0,044761993	9,760135651
8	0,030987398	0,156532913	-0,051561527	9,760327339
9	0,034957711	0,17517896	-0,049138594	9,770191193
10	0,038928023	0,176893204	-0,052682016	9,764513016
11	0,042899898	0,167603701	-0,063149467	9,746910095
12	0,046870211	0,181049526	-0,055986013	9,770890236
13	0,050840523	0,158237576	-0,060151923	9,770861626
14	0,054810836	0,174738422	-0,066060811	9,751947403
15	0,058781148	0,178406328	-0,056100935	9,746631622
16	0,062751461	0,167689875	-0,065218054	9,751142502
17	0,066723336	0,15761508	-0,054702722	9,766111374
18	0,070693648	0,163715512	-0,052308518	9,767529488
19	0,074663961	0,179105431	-0,044570457	9,757013321
20	0,078634273	0,171099231	-0,038872257	9,763047218
21	0,082604586	0,166741788	-0,033221941	9,768821716
22	0,086574898	0,151227355	-0,043411668	9,755347252
23	0,090545211	0,1552113	-0,051925447	9,748011589
24	0,094517086	0,142426267	-0,048592716	9,748623848
25	0,098487398	0,145826042	-0,050393157	9,74920845
26	0,102457711	0,168312371	-0,058792014	9,730974197
27	0,106428023	0,16853264	-0,060257267	9,748691559

Рис. 8. Дані акселерометра під час руху ліфта вгору

Розглянемо ще один цікавий спосіб використання акселерометра. Чи замислюються учні над тим, скільки разів змінюється вага людини в кабіні пасажирського ліфта під час одного переусування? Щоб з'ясувати це, покладемо телефон на підлогу кабінки ліфта. Запустимо застосунок Rhyrhox і виберемо дані з акселерометра «Прискорення з g». Увімкнемо запис даних і вирушимо з першого поверху на верхній. Прибувши, вимкнемо запис. Результат експортуємо у формат CSV (рис. 8), і за допомогою табличного процесора будемо графік залежності прискорення за вертикальною віссю OZ від часу t (рис. 9).

Виокремимо в отриманому графіку п'ять ділянок і проаналізуємо їх.

Ділянка I. Ліфт стоїть на місці до 9-ї секунди. Отже, поки смартфон перебуває в стані спокою, датчик фіксує прискорення по вертикальній осі, що в середньому дорівнює $g = 9,76 \text{ м/с}^2$.

Ділянка II. На 9-й секунді ліфт починає рухатися вгору з деяким прискоренням а. Датчик фіксує дані $g + a$, які доходять до $11,70 \text{ м/с}^2$.

Ділянка III. З 10-ї секунди ліфт набрав швидкість і їде рівномірно. Оскільки пасажирський ліфт має рухливу пружинну підлогу (пристрій контролю завантаження), ми бачимо

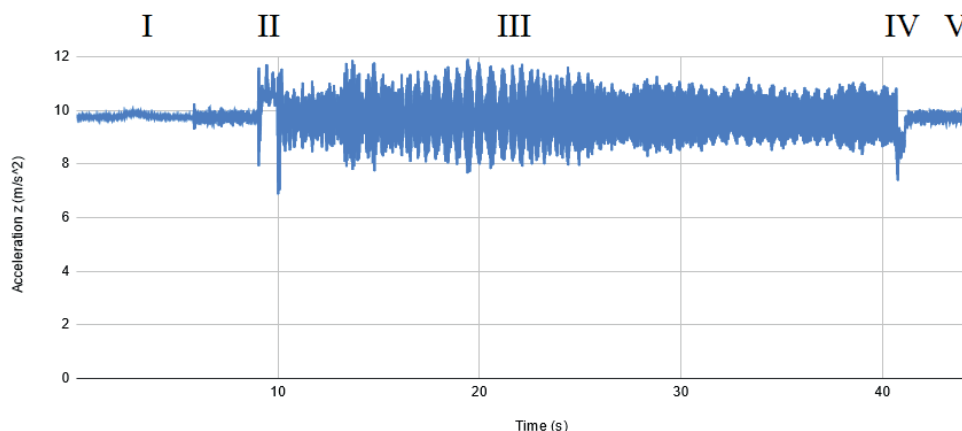


Рис. 9. Графік залежності проекції прискорення на вісь OZ від часу

додатковий шум відносно прискорення вільного падіння g .

Ділянка IV. Коли ліфт досягнув поверху призначення (41-а секунда), починається процес гальмування (уповільнення), тобто прискорення ліфта стає негативним і датчик фіксує $g - a = 7,36 \text{ м/с}^2$.

Ділянка V. Ліфт повністю зупинився ($a = 0$), і ми знову маємо прискорення вільного падіння $g = 9,76 \text{ м/с}^2$.

Знаючи масу людини, тепер можна розрахувати, як в середньому змінюється її вага на кожній із цих ділянок. Зауважимо, що в застосунку передбачено експеримент «Ліфт», який дає змогу зареєструвати не тільки динаміку прискорення, а й зміну атмосферного тиску під час підйому чи опускання кабіни ліфта. Однак для проведення цієї роботи смартфон має бути оснащений барометром.

Приклад використання магнітометра. Застосування цього датчика дає змогу спостерігати за зміною магнітного поля Землі, виявляти магнітні збурення, вимірюючи магнітну індукцію.

Акустичний діапазон. Експеримент «Audio Score» відтворює форму звукової хвилі, зареєстровану мікрофоном. Запис аудіо починається з моменту переходу аудіосигналу від від'ємного значення до додатного, що аналогічно до режиму тригера на класичному осцилографі [5].

Амплітуда звуку. Експеримент «Audio Amplitude» дає змогу виміряти рівень звуку в дБ, що фіксується мікрофоном. Так, учні можуть виміряти рівень шуму в дБ, наприклад рівень шепоту, оплесків, гулу у вагоні метро, гулу пилососа або пральної машинки, що працюють. Для підвищення точності результатів попередньо рекомендовано проводити калібрування [5].

Пропонуємо провести таку лабораторну роботу: визначити закон, за яким рівень звуку змінюється зі збільшенням відстані від джерела звуку (рис. 10). Як джерело звуку можна використовувати ще один смартфон з увімкненим генератором тону.

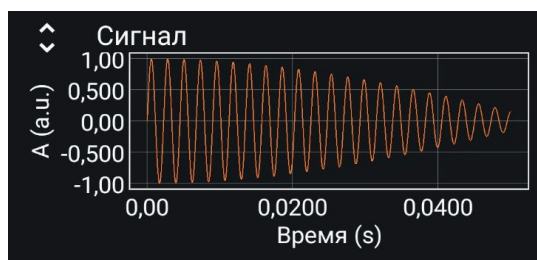


Рис. 11. Осцилограма биття



Рис. 10. Приклад вимірювання рівня звуку в лабораторній роботі

Генератор тону. У цьому експерименті можемо генерувати синусоїдальний тон заданої частоти й амплітуди, що випромінюється динаміком смартфона. Амплітуда задається в умовних одиницях від 0 до 1, а частота — в Гц. Застосунок також дає змогу задавати два тони одночасно, що корисно під час демонстрації явища биття. Як приклад на рис. 11 показана осцилограма биття, отриманого при накладанні двох гармонічних коливань однакової амплітуди зі звуковими частотами 440 Гц і 449 Гц.

Звукова автокореляція. В експерименті «Audio Autocorrelation» звук аналізується за допомогою мікрофона часовими інтервалами по 100 мс. Вимоги до джерела звуку — випромінювання одночастотного тону [5]. Уявімо, що наш генератор випромінює синусоїдальний тон з невідомою частотою. Визначимо її за допомогою звукової автокореляції Phyrfox. З рис. 12 бачимо: цей тон має частоту 392 Гц, що відповідає основній частоті ноти соль першої октави (G4). Такі роботи можна проводити для тренувань музичного слуху.

Аудіоспектр. Застосовуючи алгоритм швидкого перетворення Фур'є, експеримент «Audio Spectrum» відображає частотний спектр звуку, визначає його пікову частоту і відповідну їй музичну ноту [5]. Користувач може коригувати



Рис. 12. Результати експерименту «Звукова автокореляція»

частоту дискретизації. Так, більша частота збільшує спектральну роздільну здатність, що підвищує точність результатів, але сповільнює оброблення. На рис. 13, а наведено спектр звуку акустичної гітари. За спектром бачимо, що це нота мі першої октави (E4). Цей експеримент можна застосувати для налаштування музичних інструментів і тренування музикального слуху.

У наступному експерименті проаналізуємо спектр звуку, отриманого під час постукування ложечкою по порожній склянці і по наповненій водою. Експеримент дає нам змогу визначити резонансну частоту коливачів: 2906,25 Гц — у першому випадку (рис. 13, б), 2156,25 Гц — у другому (рис. 13, в). Пропонуємо учням дослідити вплив домішок у воді (наприклад, цукру або солі) на умови виникнення резонансної частоти.

Ще однією цікавою роботою може стати визначення числа обертів за хвилину електродвигуна постійного струму на підставі спектрального аналізу звуку обертання ротора.

Історія частоти. Експеримент «Frequency History» дає змогу визначити зміну частоти звуку, зафіксовану мікрофоном. Автокореляція обчислюється протягом часових інтервалів по 10 мс, результат відображається графіком зміни частоти в часі (рис. 14). Вимоги до джерела звуку — випромінювання одночастотного тону.

Ехолот. В експерименті «Sonar» динамік смартфона випромінює короткі звукові сигнали, які досягають перешкоди і відбиваються від неї. Знаючи швидкість звуку і розрахувавши час, за який відбитий сигнал досягне мікрофона, Rhyrfox оцінює відстань до перешкоди. Водночас інтерпретувати результат, отриманий у непідготовленому просторі, неможливо через численні перевідбиття від різних об'єктів і перешкод. За рекомендаціями авторів проекту Rhyrfox до початку проведення експерименту слід акустично ізолювати всі напрямки поблизу смартфона, крім одного. Для цього смартфон варто помістити в коробку, п'ять граней якої вироблені зі звукопоглинального матеріалу, наприклад поролону [6]. З відкритого боку використовувати плоский відбивач (рис. 15).

Приклад використання експерименту «Ефект Доплера». Експеримент «Doppler Effect» дасть нам змогу визначити швидкість руху радіокерованої моделі. Для цього на звуковому генераторі встановимо частоту ν_0 , наприклад 1000 Гц, і введемо її в налаштуваннях експерименту. Також введемо частотний діапазон, в якому очікуємо Доплерівський зсув частот, наприклад 10 Гц.

Двосторонньою клейкою стрічкою зафіксуємо смартфон із встановленим застосунком Rhyrfox на нашій моделі. Так ми отримаємо приймач,

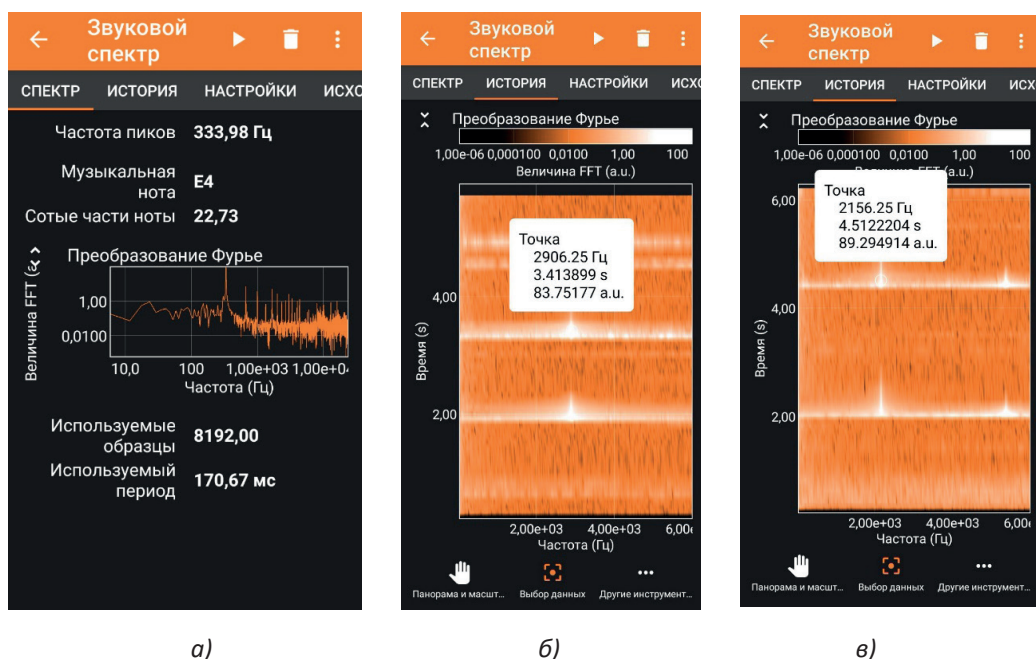


Рис. 13. Результати експериментів «Аудіоспектр»:
 а) спектр звуку гітари; б) спектр звуку під час постукування по порожній склянці;
 в) спектр звуку під час постукування по склянці, наповненій водою

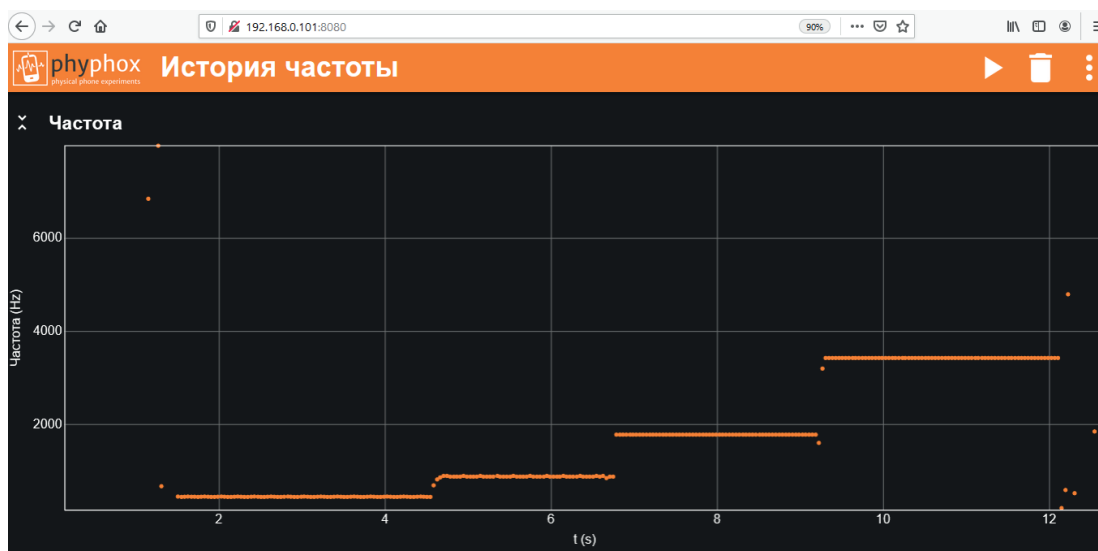


Рис. 14. Стрибкоподібна зміна частоти (440, 880, 1760, 3520 Гц) в експерименті «Історія частоти»

який буде рухатися зі швидкістю v вздовж лінії, що з'єднує смартфон і джерело звуку (рис. 16).

Нехай швидкість звуку в повітрі дорівнює u . Тоді при наближенні телефону до джерела реєстрована застосунком частота звуку становитиме $v = v_0 \left(1 + \frac{v}{u}\right)$, а при віддаленні телефону від джерела отримаємо $v = v_0 \left(1 - \frac{v}{u}\right)$. Звідси знайдемо швидкість u , з якою рухається автомобіль зі смартфоном при:

$$1) \text{ наближенні до джерела } v = \frac{(v_0 - v)u}{v_0};$$

$$2) \text{ віддаленні від джерела } v = \frac{(v_0 + v)u}{v_0},$$

де v_0 – частота звуку, що випромінюється генератором, Гц;

v – швидкість руху об'єкта зі смартфоном, м/с;
 u – швидкість звуку в повітрі, за $t = 20^\circ\text{C}$ $u \approx 343$ м/с (значення u можна коригувати в налаштуваннях експерименту).

Магнітна лінійка. Інструмент, який також дає змогу виміряти швидкість руху об'єкта зі смартфоном. За методикою, запропонованою авторами

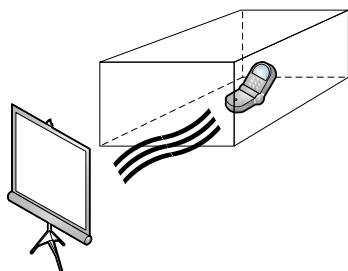


Рис. 15. Проведення експерименту «Сонар»

проекту Phyphox, для цього слід розмістити декілька магнітів через рівні проміжки вздовж траєкторії руху об'єкта [7]. У налаштуваннях потрібно задати відстань між магнітами, щоб Phyphox міг розрахувати загальну відстань і середню швидкість для кожного інтервалу. У демонстраційному відео, яке пропонують розробники Phyphox, розглядається приклад, де за допомогою цього методу визначається швидкість дитячого потяга [8].

Нахил. Інструмент Inclination використовує акселерометр для вимірювання кутів нахилу телефону (рис. 17). Він стане в пригоді молодшим школярам під час розв'язання геометричних задач, реалізованих у моделях, надрукованих на 3D-принтері.

Математичний маятник. Використовуючи експеримент «Pendulum», можемо реалізувати такі типові варіанти дослідів, як визначення місцевого прискорення вільного падіння і визначення довжини маятника. У першому варіанті в налаштуваннях експерименту слід задати довжину маятника

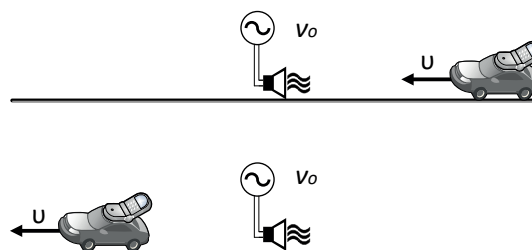


Рис. 16. Проведення експерименту «Ефект Доплера»



Рис. 17. Визначення кутів нахилу смартфону в застосунку Phyphox

як відстань від точки підвісу до центру мас смартфона. На основі даних гіроскопа застосунку визначить період коливань і розрахує $g = \frac{4\pi^2l}{T^2}$. У другому варіанті слід задати g , а застосунок визначить довжину маятника. Один з можливих варіантів конструкції для використання смартфона як математичного маятника показано на рис. 18. Цю модель нами було створено в середовищі Tinkercad.

Пружинний маятник. Експеримент «Spring» завдяки використанню даних акселерометра дає змогу визначити період коливань пружинного маятника, де як тягарець використовується смартфон. Один з можливих варіантів його реалізації показано в моделі на рис. 18. Учні можуть розро-

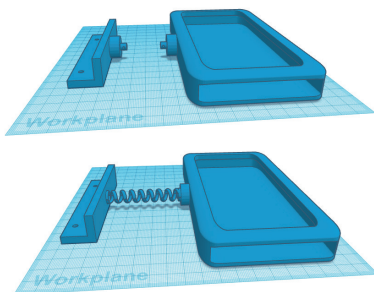


Рис. 18. Приклади конструкцій для використання смартфона Huawei P Smart Plus як математичного та пружинного маятників (Tinkercad)

бити свої прототипи пластикових пружин, роздрукувати їх і дослідити властивості, наприклад вплив діаметра й кроку пружини, її довжини (кількості витків) на коефіцієнт пружності.

Рулон. За методикою, запропонованою авторами проекту Phyphox, смартфон фіксується вздовж осі OY (довга сторона смартфона) в центральній частині трубки, яка буде скочуватися по похилій площині (рис. 19, а). За допомогою кутової швидкості, що визначається гіроскопом, і радіуса трубки R , що вводиться в налаштуваннях користувачем, Phyphox розрахує швидкість руху циліндра v_c [9]. Приклад конструктивного виконання моделі для проведення експерименту наведено на рис. 19, б.

Доцентрове прискорення. У цьому експерименті доцільно розглянути обертальний рух диска із закріпленням смартфоном. За допомогою гіроскопа вимірюється абсолютне значення кутової швидкості, а за допомогою акселерометра — абсолютне прискорення. Результат відображається графіками функцій $a = f(\omega)$ і $a = f(\omega^2)$.

У застосунку Phyphox вбудовано й інші пізнавальні інструменти, наприклад вимірювач оплесків, акустичний, оптичний секундоміри, секундомір руху, які можуть бути також цікавими для STEM-проектів і лабораторних робіт.

Висновки та перспективи подальших розвідок. На основі аналізу методичних і наукових публікацій ми охарактеризували датчики смартфона як потенційні засоби STEM-проектів. На прикладі мобільного застосунку Phyphox, табличного процесора Excel, системи комп'ютерної алгебри MathCad і середовища 3D-прототипування Tinkercad розглянули методичні особливості використання датчиків у шкільному лабораторному практикумі.

Застосунок Phyphox містить низку готових експериментів, а також дає змогу реалізувати власні експерименти із застосуванням датчиків, вбудованих у смартфон. Водночас є й інші застосунки, які можуть також бути корисні для проведення аналогічних лабораторних робіт, як-от: Science Journal (Arduino), Physics Toolbox Suite (Vieyra Software), Sensor Suite (Simplicial Software, LLC), Tool Box (Maxcom), All Tools (ATEU Softwares). На нашу думку, найбільш перспективним із них є цифровий науковий блокнот Science Journal, що підтримує запис даних не тільки з вбудованих датчиків, а й із зовнішніх завдяки Bluetooth-синхронізації з платформами Arduino — MKR WiFi 1010, Nano 33 BLE Sense, Arduino/Genuino 101.

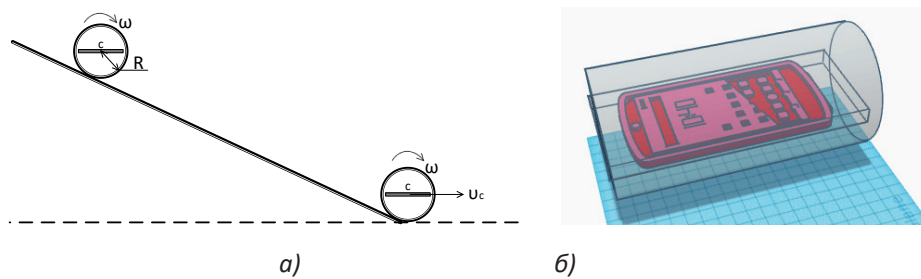


Рис. 19. Техніка проведення експерименту «Roll» (а), модель в середовищі Tinkercad як приклад розміщення смартфона в трубці (б)

Так, MKR WiFi 1010 побудована на базі 32-бітного мікроконтролера SAMD21 і має багатий набір інтерфейсів введення / виведення, модуль Wi-Fi з підтримкою сертифіката SHA-256 [10]. Платформа MKR WiFi 1010 є основою комплексу Arduino Science Kit Physics Lab, призначеного для проведення експериментів з кінематики, електромагнетизму і термодинаміки. До комплексу входить низка датчиків для вимірювання світла, температури, руху та магнітних полів [11].

Платформа Arduino Nano 33 BLE Sense містить комплекс датчиків (акселерометр, гіроскоп, магнітометр, мікрофон, барометр, датчик температури і вологості, оптичний датчик жестів і освітленості), що робить її зручною для створення проєктів інтернету речей [12; 13; 14].

Arduino/Genuino 101 — платформа, оснащена Intel Curie, має вбудований акселерометр і гіроскоп, підтримує технологію Bluetooth Smart, що дає змогу створювати «розумні» пристрої з розширеними мережевими можливостями й обчислювальними функціями. Ця платформа є сумісною з комплектом Grove Starter Kit Plus — IoT Edition, яка має модулі датчиків звуку, дотику, світла, температури, акселерометра, поворотного кутового датчика, датчика вібрації та інші електронні компоненти.

Отже, перспективи подальших розвідок вбачаємо в розробленні навчально-методичних матеріалів для системного використання мобільних датчиків у шкільних лабораторних практикумах і STEM-проєктах.

Список використаних джерел

1. Homola P. et al. Cosmic-Ray Extremely Distributed Observatory. *Symmetry*. 2020. Vol. 12. Issue 11. 55 p. DOI: <https://doi.org/10.3390/sym12111835>.
2. Vogt P., Kuhn J. Analyzing simple pendulum phenomena with a smartphone acceleration sensor. *The Physics Teacher*. 2012. Vol. 50. Issue 7. Pp. 439–440. DOI: <https://doi.org/10.1119/1.4752056>.

3. Kuhn J., Vogt P. Analyzing spring pendulum phenomena with a smart-phone acceleration sensor. *The Physics Teacher*. 2012. Vol. 50. Issue 8. Pp. 504–505. DOI: <https://doi.org/10.1119/1.4758162>.
4. Wattanayotin P., Puttharugsa C., Khemmani S. Investigation of the rolling motion of a hollow cylinder using a smartphone's digital compass. *Physics Education*. 2017. Vol. 52. Issue 4. Pp. 045009. DOI: <https://doi.org/10.1088/1361-6552/aa6a0a>.
5. Archives: Experiments. URL: <https://phyphox.org/experiment> (дата звернення: 23.05.2022).
6. Smartphone-Experiment: Sonar. URL: <https://youtu.be/Ebj3v701HE0> (дата звернення: 23.05.2022).
7. Experiment: Magnetic Ruler. URL: https://phyphox.org/wiki/index.php?title=Experiment:_Magnetic_Ruler (дата звернення: 23.05.2022).
8. Smartphone-Experiment: Magnetic Ruler. URL: <https://youtu.be/TS0zw1ecy6A> (дата звернення: 23.05.2022).
9. Experiment: Roll. URL: https://phyphox.org/wiki/index.php?title=Experiment:_Roll (дата звернення: 23.05.2022).
10. Arduino MKR WiFi 1010. URL: <https://store.arduino.cc/arduino-mkr-wifi-1010> (дата звернення: 23.05.2022).
11. Arduino Science Kit Physics Lab. URL: <https://store.arduino.cc/physics-lab> (дата звернення: 23.05.2022).
12. Arduino Nano 33 BLE Sense. URL: <https://store.arduino.cc/arduino-nano-33-ble-sense> (дата звернення: 23.05.2022).
13. TensorFlow Lite for Microcontrollers. URL: <https://www.tensorflow.org/lite/microcontrollers> (дата звернення: 23.05.2022).
14. Pajak D., Mistry S. Fruit identification using Arduino and TensorFlow. URL: <https://blog.arduino.cc/2019/11/07/fruit-identification-using-arduino-and-tensorflow> (дата звернення: 23.05.2022).

References

1. Homola, P., Beznosko, D., Bhatta, G., Bibrzycki, Ł., Borkczyńska, M., Bratek, Ł. et al. (2020). Cosmic-Ray Extremely Distributed Observatory. *Symmetry*, 12 (11). DOI: <https://doi.org/10.3390/sym12111835>.

2. Vogt, P., & Kuhn, J. (2012). Analyzing simple pendulum phenomena with a smartphone acceleration sensor. *The Physics Teacher*, 50 (7), 439–440. DOI: <https://doi.org/10.1119/1.4752056>.
3. Kuhn, J., & Vogt, P. (2012). Analyzing spring pendulum phenomena with a smart-phone acceleration sensor. *The Physics Teacher*, 50 (8), 504–505. DOI: <https://doi.org/10.1119/1.4758162>.
4. Wattanayotin, P., Puttharuga, C., & Khemmani, S. (2017). Investigation of the rolling motion of a hollow cylinder using a smartphone's digital compass. *Physics Education*, 52 (4), 045009. DOI: <https://doi.org/10.1088/1361-6552/aa6a0a>.
5. Archives: Experiments. <https://phyphox.org>. Retrieved from <https://phyphox.org/experiment>.
6. Smartphone-experiment: Sonar. Retrieved from <https://youtu.be/Ebj3v701HE0>.
7. Experiment: Magnetic ruler. Retrieved from https://phyphox.org/wiki/index.php?title=Experiment%3A_Magnetic_Ruler.
8. Smartphone-experiment: Magnetic Ruler. Retrieved from <https://youtu.be/TS0zw1ecy6A>.
9. Experiment: Roll. Retrieved from https://phyphox.org/wiki/index.php?title=Experiment%3A_Roll.
10. Arduino MKR WIFI 1010. Retrieved from <https://store.arduino.cc/arduino-mkr-wifi-1010>.
11. Arduino Science Kit Physics Lab. Retrieved from <https://store.arduino.cc/physics-lab>.
12. Arduino Nano 33 BLE Sense. Retrieved from <https://store.arduino.cc/arduino-nano-33-ble-sense>.
13. TensorFlow Lite for Microcontrollers. Retrieved from <https://www.tensorflow.org/lite/microcontrollers>.
14. Pajak, D., & Mistry, S. Fruit identification using Arduino and TensorFlow. Retrieved from <https://blog.arduino.cc/2019/11/07/fruit-identification-using-arduino-and-tensorflow>.

O. S. Voronkin

METHODOLOGICAL FEATURES OF SMARTPHONE SENSORS USING IN PHYSICS SCHOOL LABORATORY WORKSHOP (ON THE EXAMPLE OF THE PHYPHOX MOBILE APPLICATION)

Abstract. *The article focuses on the use of smartphone sensors — accelerometer, gyroscope, magnetometer, light sensor, microphone, barometer, and others in students' STEM projects. A partial solution to the problem of the outdated material and technical base of school physics classrooms is proposed by conducting laboratory work in the Phyphox application and 3D printing of auxiliary elements previously developed in the Tinkercad modeling environment. Phyphox is an application developed at the RWTH Aachen University. The application allows, based on data received from smartphone sensors, to create a full-fledged laboratory complex and conduct non-trivial experiments, as well as to save data arrays for further interpretation. The following features of the Phyphox application were revealed: the presence of ready-made physical experiments, the ability to create your own experiments, processing and displaying data from smartphone sensors in real-time, support for exporting experiment results to files of various formats (csv, xls). Phyphox can be controlled remotely from any device that is on the same network as the smartphone and has a web browser. As an example, typical physical experiments proposed in Phyphox and the author's initiatives are considered, such as: determining the relationship between illumination and an increase in the distance to the light source, establishing the motion law of a suspended swing based on accelerometer data, determining the weight of a passenger in a mobile elevator car, establishing a function, according to which the sound level changes with increasing distance from the sound source, studies of resonance phenomena in the air depending on the volume of the cavity, determination of the speed of movement of a radio-controlled car (using the example of the Doppler effect studying). A promising direction is laboratory work using external sensors connected to Arduino platforms with synchronization with a smartphone via Bluetooth. It requires further educational and methodological developments.*

Keywords: *STEM education, sensors, smartphone, experiment.*

ІНФОРМАЦІЯ ПРО АВТОРА

Воронкін Олексій Сергійович — канд. пед. наук, викладач-методист, викладач циклової комісії загальноосвітніх та соціально-гуманітарних дисциплін, Східнодонецький фаховий коледж культури і мистецтв імені Сергія Прокоф'єва, м. Східнодонецьк, Україна, alex.voronkin@gmail.com; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-4088-7147>

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Voronkin O. S. — PhD in Pedagogy, Guidance teacher, teacher of the cyclic commission for the general educational, social and human sciences, Serhii Prokofiev Sievierodonetsk College of culture and arts, Sievierodonetsk, Ukraine, alex.voronkin@gmail.com; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-4088-7147>

Стаття надійшла до редакції / Received 23.05.2022