

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ХЕРСОНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
Факультет комп'ютерних наук, фізики та математики  
Кафедра фізики та методики її навчання

**ВИМІРЮВАННЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНОЇ ФІЗИЧНОЇ  
КОНСТАНТИ – ШВИДКОСТІ СВІТЛА У ВІРТУАЛЬНІЙ  
ФІЗИЧНІЙ ЛАБОРАТОРІЇ**

**Кваліфікаційна робота**

**на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»**

Виконала: студентка 4 курсу, групи 15-411

Спеціальності 014 Середня освіта  
(Фізика)

Освітньо-професійна (наукова) програма  
Середня освіта (Фізика)

Бельза Карина Михайлівна

Керівник

доктор педагогічних наук, кандидат  
фізико-математичних наук, професор  
Кузьменков С. Г.

Рецензент

кандидат фізико-математичних наук,  
доцент Кравцов Г. М.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП.....</b>	<b>3</b>
<b>РОЗДІЛ 1. ІСТОРИЧНІ ДОСЛІДИ З ВИМІРЮВАННЯ</b>	
<b>ШВИДКОСТІ СВІТЛА .....</b>	<b>5</b>
1.1. Вимірювання О. Рьомера .....	5
1.2. Дослід А. Фізо в історичному контексті.....	6
1.3. Метод Д. Берардо як сучасний спосіб вимірювання швидкості світла .....	9
<b>РОЗДІЛ 2. ВІРТУАЛЬНА ФІЗИЧНА ЛАБОРАТОРІЯ ТА ЇЇ</b>	
<b>ОСОБЛИВОСТІ .....</b>	<b>11</b>
2.1. Поняття віртуальної фізичної лабораторії .....	11
2.2. Використання віртуальних лабораторій під час вивчення фізики у зкладах середньої і вищої освіти .....	16
<b>РОЗДІЛ 3. ВИМІРЮВАННЯ ШВИДКОСТІ СВІТЛА У</b>	
<b>ВІРТУАЛЬНІЙ ФІЗИЧНІЙ ЛАБОРАТОРІЇ.....</b>	<b>22</b>
3.1. Дослід О. Рьомера у віртуальній фізичній лабораторії.....	22
3.2. Експериментальна реконструкція дослід А. Фізо у віртуальній фізичній лабораторії .....	25
3.3. Вимірювання швидкості світла методом Д. Берардо .....	27
<b>ВИСНОВКИ .....</b>	<b>31</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....</b>	<b>32</b>
<b>ДОДАТКИ.....</b>	<b>35</b>
Додаток А.....	35

## ВСТУП

В даний час світ стає свідком того, що можна охарактеризувати як технологічне вторгнення в усі сфери життя. Це результат безпрецедентних досягнень в області науки і техніки впродовж всієї історії.

Цей новий час технологій допоміг нам використовувати цифрові пристрої в багатьох областях, включаючи освіту, що також допомогло поширити платформи електронного навчання і дистанційне навчання.

**Актуальність.** Повсюдне впровадження дистанційного навчання за умов пандемії диктує необхідність пошуку нових підходів до організації процесів моделювання вчительської роботи. Саме перед вчителем фізики постає проблемне питання: «Як організувати роботу учнів і при цьому не зменшити продуктивність та інтерес до свого предмету?». Лабораторні роботи та практичні завдання, які включають в себе проведення експерименту, є невід'ємною частиною засвоєння або розуміння учнями теми. Для цього вчитель має можливість використовувати он-лайн віртуальні лабораторії, програми на ПК та відео-демонстрації з детальним розглядом експерименту.

До того ж проведення деяких експериментів не можливе не тільки в закладах загальної середньої освіти, а й в університетських фізичних лабораторіях. Єдиний вихід – використання віртуальних лабораторій.

Щоб переконатися в простоті засвоєння знань та більш детального розуміння фізичних явищ за допомогою віртуальної фізичної лабораторій, продемонструємо експерименти з визначення швидкості світла.

**Метою дослідження** є експериментальна реконструкція дослідів Рьомера, Фізо та Берардо у віртуальній фізичній лабораторії.

Для досягнення цієї мети, були поставлені такі **завдання**:

1. Розглянути досліди Рьомера, Фізо та Берардо в історичному контексті.
2. Дослідити літературу з питання «доцільність використання віртуальної фізичної лабораторії під час вивчення фізики у закладах середньої освіти»;
3. Реконструкція експерименту Рьомера, Фізо та Берардо у віртуальній фізичній лабораторії.

**Об'єктом дослідження** є вимірювання швидкості світла.

**Предметом дослідження** вимірювання швидкості світла методами Рьомера, Фізо та Берардо у віртуальній фізичній лабораторії.

Під час написання дипломної роботи були використанні **методи дослідження**: теоретичні (аналіз наукових, науково-методичних джерел з проблеми дослідження, синтез, порівняння, узагальнення), та також емпіричний (розробка та виконання експерименту).

**Структура і обсяг роботи.** Робота складається зі вступу, трьох розділів, висновку, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг дипломної роботи становить 35 сторінок.

## РОЗДІЛ 1. ІСТОРИЧНІ ДОСЛІДИ З ВИМІРЮВАННЯ ШВИДКОСТІ СВІТЛА

### 1.1. Вимірювання О. Рьомера

Оле Рьомер народився 1644 року в Орхусі. Був учнем фізика Расмуса Бартоліна, та за допомогою нього почав вчити математику й астрономію, після чого брав участь в підготовці публікації журналів спостережень Тихо Браге [5, с. 27].

Головним досягненням Рьомера є визначення швидкості світла, засноване на низці спостережень над затемненнями супутників Юпітера. Користуючись складеними Дж. Кассіні таблицями руху супутників Юпітера. Рьомер пояснив запізнювання часу затемнення першого супутника (для випадку, коли Земля і Юпітер найвіддаленіші один від одного порівняно з часом затемнення за найменшій відстані між ними) скінченністю швидкості світла. Запізнення становило 22 хвилини, і цей час витрачався світлом, щоб подолати відстань, яка дорівнює діаметру орбіти Землі (за сучасними даними, світло проходить цю відстань приблизно за 17 хвилин).

Перший звіт про своє відкриття Рьомер надав до Паризької академії 22 листопада 1675 року. [9, с. 208].

З самого початку дослідів Рьомера піддали під сумнів, оскільки вірили думці, що швидкість світла є нескінченною. Але через певний проміжок часу гіпотеза Рьомера знайшла своє підтвердження та була визнаною в науці.

Олаф Рьомер, досліджуючи рух супутника на орбіті навколо Юпітера, зауважив затримку приходу світла від супутника при різному положенні Землі на орбіті. Виходячи з цього він визначив швидкість світла рівній 220000км/сек.[7, с. 238]

О.К. Ремер спостерігав порушення періодичності затемнень, і це явище Ремер пов'язав зі скінченною швидкістю поширення світла. Радіус орбіти Юпітера навколо Сонця  $R_J$  значно більше радіусу орбіти Землі  $R_3$ , а період обертання приблизно дорівнює 12 років. Тобто за час півоберту Землі (півроку), Юпітер переміститься по орбіті на деяку відстань  $i$ , якщо фіксувати час приходу світлового сигналу з моменту появи Іо з тіні Юпітера, то світло має пройти більшу відстань до Землі в разі положення 2, ніж в разі 1 ( рис. 1.1). [8, с. 184]

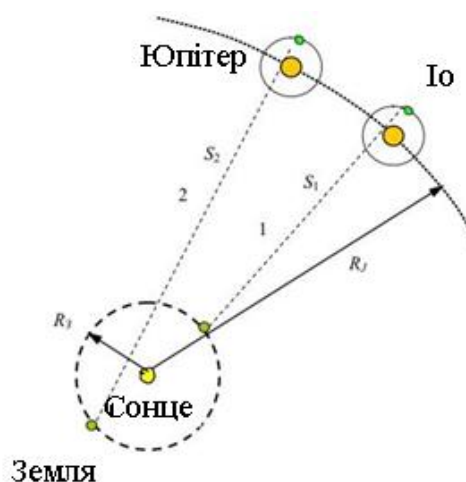


Рисунок 1.1. Схема досліджу – супутник Іо навколо Юпітера

## 1.2. Дослід А. Фізо в історичному контексті

Швидкість світла – одне з найбільш встановлених значень у фізиці, виміряне з високою точністю. Але до 17 століття більшість вчених, включаючи таких гігантів, як Йоганн Кеплер і Рене Декарт, вважали, що швидкість світла нескінченна, що дає змогу світлу миттєво переміщатися на будь-яку відстань. Галілео Галілей був одним з перших, хто поставив під сумнів це припущення і спробував експериментально виміряти швидкість світла [1, ст. 30-31]. Його спроби виявились невдалими.

Однак минуло ще 100 років, перш ніж французький вчений на ім'я Арманд-Іпполіт-Луї Фізо з'ясував, як виміряти швидкість світла за допомогою земного експерименту.

Його робота з Фуко надихнула Фізо на спробу власного вимірювання швидкості світла. Він побудував прилад, в якому зубчасте колесо та дзеркало розміщувались на відстані восьми кілометрів, а потім передавали між ними імпульси світла. Він обертав зубчасте колесо і спостерігав, як промінь світла рухався між зубцями колеса і далеким дзеркалом, з'ясовуючи те, як швидкість обертання колеса впливає на спостереження відбитого від дзеркала світла [2, ст. 252].

У таблиці 1.1 наведено деякі найкращі вимірювання.

*Таблиця 1.1.*

Історичні данні вимірювання швидкості світла

Рік вимірювання	Автор	Метод	Результат (км/с)	Помилка (км/с)
1676	Олаус Ремер	Супутники Юпітера	214,000	
1726	Джеймс Бредлі	Аберація світла	301,000	
1849	Арман Фізо	Зубчасте колесо	315,000	
1862	Леон Фуко	Поворотне дзеркало	298,000	±500
1879	Альберт Майкельсон	Поворотне дзеркало	299,910	±50
1907	Роза, Дорсей	Електромагнітна постійна	299,788	±30

1926	Альберт Майкельсон	Поворотне дзеркало	299,796	$\pm 4$
1947	Ессен, Горден- Сміт	Резонатор порожнини	299,792	$\pm 3$
1958	К. Д. Фрум	Радіоінтерферометр	299,792.5	$\pm 0.1$
1972	Евенсон та ін.	Лазери	299,792.4574	$\pm 0.001$
1983		Прийняте значення	299,792.458	

Дослід А. Фізо – перший наземний метод вимірювання швидкості світла і був проведений в 1849 році.

Світло від джерела  $S$  фокусується лінзою  $L_1$  на краю зубчастого колеса  $W$ , що має  $N$  зубців. Він проходить через проміжки між зубами і подається до другої лінзи  $L_2$ , яка виробляє пучок паралельного світла. Це проходить через відому відстань  $d$  до третьої лінзи  $L_3$  і до увігнутого дзеркала  $M$ . Потім воно відбивається назад, і коли воно стикається з пластиною  $P$ , воно відбивається в окулярі  $E$  (рис. 1.2) [4].

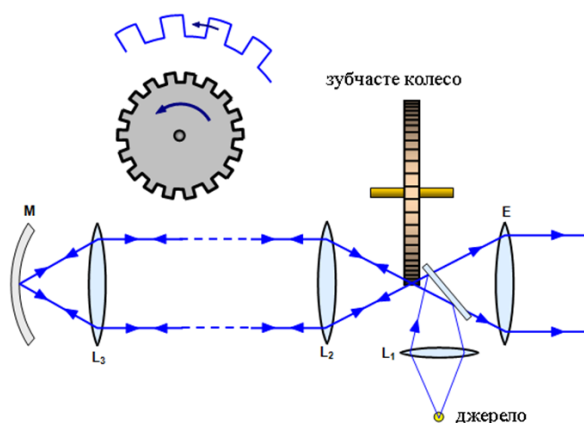


Рисунок 1.2. Експеримент Фізо з зубчастим колесом



Тепер колесо обертається до тих пір, поки не буде досягнута швидкість, за якої імпульс світла, що виходить через один зазор, повертається до колеса, коли наступний зуб зайняв місце зазору. Тому світло, що потрапляє в окуляр, і не буде спостерігатися. Якщо колесо обертається зі швидкістю  $n$  оборотів в секунду, тоді:

- Відстань, пройдена світлом  $= 2d$
- Час переходу  $= \frac{1}{2nN}$
- Швидкість світла  $c = 4nNd$

Значеннями Фізо були:  $2d = 17,26$  км,  $N = 720$ ,  $n = 12,6$  обертів за секунду, що дає значення  $3.13 \cdot 10^8$  км/с для швидкості світла.

Фізо припустив, що кількість часу, необхідного колесу для переміщення по ширині одного зубця, було еквівалентним часу, протягом якого промінь світла рухався до дзеркала і назад. Оскільки він знав, з якою швидкістю обертається зубчасте колесо, і ширину окремого гвинта, а також відстань до дзеркала, Фізо зміг обчислити швидкість світла, отримавши значення 313 300 кілометрів за секунду. Це все ще було приблизно на 5% занадто високо [3].

### **1.3. Метод Д. Берардо як сучасний спосіб вимірювання швидкості світла**

Найбільш сучасним методом вимірювання швидкості світла є метод, котрий включає в себе два звичайні інструменти: шоколад та мікрохвильову піч. Котрі можна знайти майже в кожному домі.

Студент Массачусетського технологічного інституту Девід Берардо віродив науково-популярний експеримент в Твіттері – вважається, що ця ідея вперше з'явилася на зборах Національної асоціації викладачів природничих наук (NSTA) в Атланті в 2004 році.

«Ви можете виміряти швидкість світла вдома, використовуючи лише мікрохвильову піч і плитку шоколаду», – пояснює Берардо [10].

Розглянутий експеримент заснований на тому, що швидкість світла дорівнює довжині хвилі ( $\lambda$ ), помноженій на частоту ( $\nu$ ), на рисунку 1.3 позначено як  $f$ , електромагнітної хвилі (наприклад, мікрохвильової печі або видимого світла).

Для початку потрібно лише вийняти вертушку всередині мікрохвильової печі, вставити шоколад, а потім нагрівати його приблизно 20 секунд. Зняття вертушки означає, що завдяки стоячий хвилі у мікрохвильовій печі, вона розтопить певні плями шоколаду на половині довжини хвилі.

Вийнявши шоколад з мікрохвильової печі, виміряйте відстань між нагрітими плямами.

Потім подвійте записану відстань, щоб отримати довжину хвилі. Далі, перевірте частоту на мікрохвильовій печі, і все готово.

Берардо виклав власні розрахунки та рівняння, необхідні для експерименту, на блокноті, який можна побачити нижче на рисунку 1.3:

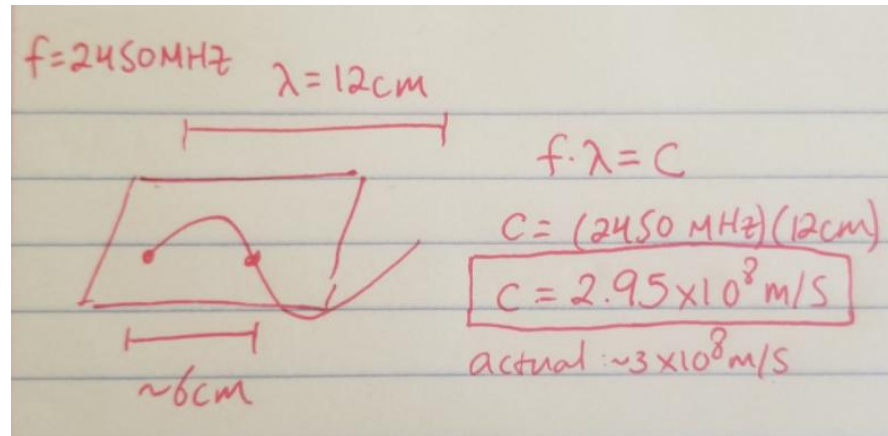


Рис.1.3. Розрахунки Д. Берардо

У своєму потоці в Twitter студент стверджував, що цей експеримент дає змогу кожному обчислити швидкість світла з 98-відсотковою точністю.

## РОЗДІЛ 2. ВІРТУАЛЬНА ФІЗИЧНА ЛАБОРАТОРІЯ ТА ЇЇ ОСОБЛИВОСТІ

### 2.1. Поняття віртуальної фізичної лабораторії

Під поняттям віртуальні «лабораторії» можна розуміти, що це змодельовані навчальні середовища, які дають можливість студентам та учням виконувати лабораторні експерименти в режимі он-лайн і вивчати концепції і теорії, не заходячи у фізичну лабораторію.

Віртуальна лабораторія – це віртуальне програмне середовище, в якому організована можливість дослідження моделей об'єктів, їх сукупностей і похідних, заданих з певною часткою деталізації щодо реальних об'єктів, в рамках певної галузі знань [13, с.10].

Лабораторія – місце, спеціально організоване для проведення лабораторних занять, експериментів і місце для пошуку рішень у галузі фундаментальних наук, або для вирішення завдань у певній прикладній галузі знань [11, с.301].

За допомогою анімацій учні можуть вивчати науку про життя на молекулярному рівні і заглядати всередину машин, якими вони керують.

Програмне забезпечення віртуальної лабораторії створює можливості для альтернативного доступу до наукової освіти.

Зараз у мережі Інтернет представлено ціла лінійка програмних пакетів, призначених для виконання віртуальних навчальних експериментів. Віртуальні лабораторії розрізняються за змістовими ознаками і за формою подання. У разі класифікації моделей віртуальних лабораторій за змістовими ознаками можна виділити стандартні типи моделей систем і процесів: феноменологічні і абстрактні; активні та пасивні; статичні і динамічні; дискретні і безперервні; детерміновані і стохастичні; функціональні і об'єктні [12, с. 244-251].

У разі класифікації моделей віртуальних лабораторій за формою подання в даний час прийнято розглядати наступні типи моделей:

- Інтерактивні демонстрації, які відіграють роль допоміжного засобу для наочної демонстрації будь-якого експерименту.
- Прості моделі, які представляють собою набір лабораторних робіт або досліджень, об'єднаних за певною ознакою [17, с. 57-60].
- Універсальні й імітаційні лабораторії мають в основі свого функціонування потужний математичний апарат і відповідно є складними моделюючими системами. Універсальність таких систем забезпечується системним підходом до моделювання та розробки моделей. Завдяки своїм можливостям віртуальні комп'ютерні лабораторії поряд з навчальними цілями можуть бути використані для реальних наукових або виробничих розрахунків [14].

Особливістю універсальних лабораторій є яскраво виражений компонентний підхід з використанням технології об'єктно-орієнтованого проектування. З наведеної класифікації можна виділити два типи моделей: інтерактивна демонстрація і прості моделі, які на першому етапі можуть бути реалізовані як підсистеми систем дистанційного навчання [18, с.41-43].

У більшості випадків типова добре спроектована віртуальна лабораторія починається з концепцій, що стосуються історії, фундаментальних експериментів і моделей для вивчення універсальних принципів предмета, що вивчається. За концепціями слідує анімації, галереї, відео, демонстрації, практики і вирішення проблем.

Вбудовані механізми динамічної оцінки і зворотного зв'язку, які дають можливість студентам складати карту експериментів, щоб довести, підтвердити та перевірити своє розуміння теми. Існують робочі місця з ресурсами та інструкціями для розрахунків.

Майже кожна лабораторія закінчується бібліографією і гіперпосиланнями на інші ресурси для подальших досліджень. Студенти

можуть додавати сайти віртуальних лабораторій в закладки або додавати їх в портфоліо своїх курсів. Студенти не тільки можуть читати теоретичну частину, що стоїть за цими експериментами, але і отримують можливість випробувати свої знання в дії, перевірити розуміння прочитаного.

Традиційне лабораторне навчання може бути небезпечним або навіть неможливим в деяких випадках. В такому випадку можна розглянути основні проблеми, що виникають під час використання фізичних лабораторій для перевірки знань.

Основні проблеми з традиційним лабораторним навчанням:

1. Обмежений доступ до фізичних лабораторій або навіть їх відсутність. Студенти і співробітники не обов'язково мають доступ до лабораторії в будь-який час (наприклад, за правил соціального дистанціювання через пандемію, через обмежені можливості).

2. Ризик нещасного випадку. Експерименти з обладнанням і небезпечними речовинами особливо небезпечні, коли учні недосвідчені.

3. Дороге лабораторне обладнання. Учні не можуть експериментувати з сучасними, просунутими машинами, оскільки у них часто не вистачає бюджету. Отже, їх досвід навчання неповний.

4. Переповнені лабораторії. Устаткування і матеріали обмежені. Не у кожного учня буде можливість провести експерименти з перших рук.

5. Відсутність залученості. Загальні обмеження фізичних лабораторій (наприклад, недостатня кількість машин, застаріле обладнання та т. д.). Якщо вони не можуть застосувати на практиці те, що вивчають в теорії, їм важче зрозуміти складні концепції і зберегти мотивацію.

Однак віртуальна лабораторія може вирішувати ці проблеми одну за одною, адже віртуальні лабораторії мають ряд переваг.

Переваги віртуальних лабораторій:

1. Скорочення витрат. Купівля нового обладнання, за умов їх відсутності, або ж несправності, підтримка обладнання в робочому стані, не кожний навчальний заклад має можливість на це.

2. Гарантія безпеки. У віртуальній лабораторії учні можуть проводити всілякі експерименти без ризику пошкодити обладнання або поранитися.

3. Створення реалістичного досвіду навчання. Віртуальні лабораторії допомагають створити реалістичне середовище навчання, щоб учні пройшли повне навчання і були більш підготовлені.

4. Підвищення впевненості учнів. Робота з небезпечними речовинами або з важкою технікою може , особливо для менш досвідчених учнів. Дайте їм можливість попрактикуватися в віртуальному інтерактивному лабораторному середовищі, перш ніж вони потраплять в реальні умови роботи.

5. Пропонуйте змішане навчання.

6. Залучайте учнів. Лекції та презентації демонструють учням теоретичне розуміння матеріалу, коли справа доходить до практичної роботи, такої як фізичні експерименти, учням недостатньо тільки бачити, потрібно надавати можливість і самому цей експеримент провести.

7. Необмежений час експериментів. Учні можуть повторювати експерименти стільки раз, скільки необхідно, і практикуватися в своєму власному темпі.

8. Пояснювати складні концепції і процедури. Теорія може бути занадто абстрактної, якщо учні не бачитимуть, як вона застосовується в реальному житті. Але в віртуальних лабораторіях учні можуть грати з маленькими частинками, спостерігати за процесами із середини.

9. Забезпечує співпрацю і взаємодію між учнями, а також між вчителями та учнями.

10. Можливість записувати всі результати в електронному вигляді, що допомагає аналізувати їх з використанням новітніх програм і ділитися результатами і аналізом з іншими.

11. Допомагає вчителю оцінювати учнів в електронному вигляді і легко направляти їх і стежити за їх прогресом у проведенні експериментів.

Віртуальні лабораторії залишають багато місця для експериментів і взаємодії між учнями і викладачами. Таким чином, вони можуть допомогти поліпшити якість електронного навчання [15].

Кілька порад і ідей для вчителя про те, як можна використовувати віртуальні лабораторії в курсах електронного навчання:

1. Замість того, щоб змушувати учнів робити припущення або запам'ятовувати концепції і процедури, дайте їм радість відкриттів. Задайте їм ситуаційні питання, а потім дозвольте їм відтворити ці сценарії в віртуальній лабораторії. Будь-які розбіжності між очікуваннями і (віртуальною) реальністю можуть стати темою наступного уроку.

2. Використовуйте віртуальні лабораторні інтерфейси, щоб допомогти учням розвивати свої навички. Освоюючи прості процедури, учні можуть практикуватися в більш складних процесах і більш складні завдання за допомогою програмного забезпечення віртуальної лабораторії.

3. Забезпечте лабораторні завдання, які вчать учнів, як використовувати фізичну лабораторію, крок за кроком. Ви можете включити правила техніки безпеки і поради щодо правильного використання обладнання.

4. Створюючи свою віртуальну лабораторію, виберіть гнучкий інтерфейс. Учні зможуть проходити навчання з будь-якого пристрою. Крім того, багатий і інтерактивний користувальницький інтерфейс забезпечить зручність і гнучкість електронного навчання.

## **2.2. Використання віртуальних лабораторій під час вивчення фізики у закладах середньої і вищої освіти**

Фізика – це частина науки, що складається з перевірених фактів, концепцій, принципів і законів [6, с. 72]. Одна з цілей навчання фізики полягає в розробці теорій для створення технологій, здатних допомогти людському життю. Отже, вивчення фізики грає важливу роль в навчанні та розвитку потенціалу учнів.

Вивчення фізики дало великий внесок в розвиток науки і техніки. Більшість технологій, що використовуються людством сьогодні засновано на розвитку теорій фізики.

Технології продовжують розвиватися і щоб йти в ногу з сучасністю, потрібно бути готовим до цього. Допомогти навчитися працювати з новітніми технологіями, є задачею вчителя.

Сучасний стандарт фізичної освіти як для вищої, так і для середньої школи вимагає активного засвоєння сучасних способів одержання, обробки і представлення інформації, оволодіння методами так званого «комп'ютеризованого експерименту». Під комп'ютеризованим експериментом розуміють реальний експеримент для обробки результатів і представлення якого використовують комп'ютерні технології.

Доцільність впровадження комп'ютеризованої роботи обумовлена ще тим, що одержати чітку інтерференційну картинку на великому екрані зі звичайними джерелами струму неможливо, але цей дослід має велике значення для розуміння хвильових властивосте не тільки випромінювання, а й мікрочастинок (уявний експеримент з інтерференції електронів) [16, с. 87].

Плани організації навчального процесу з фізики у закладах вищої освіти, традиційно включають лабораторний практикум, що виконується



на реальному фізичному обладнанні, але обсяг годин, що відводиться на цей вид роботи, неухильно скорочується [19, с. 64-68]. Крім того, звичайний набір лабораторних робіт досить обмежений, інструментарій нерідко занадто примітивний, і робота з ним не викликає у учнів інтересу. У цих умовах віртуальний практикум стає корисною і привабливою альтернативою реальному.

Віртуальні фізичні практикуми є незамінним інструментом для моделювання явищ і процесів у відсутності можливості їх реального відтворення. Віртуальні роботи можуть здійснюватися студентами в будь-який час, в тому числі дистанційно, самотійність виконання (зниження ймовірності дублювання) може бути забезпечена індивідуалізацією завдання [20, с. 54-60].

Віртуальна лабораторія – це віртуальне програмне середовище, в якому організована можливість дослідження моделей об'єктів, їх властивостей, заданих з певною часткою деталізації щодо реальних об'єктів [21]. Поєднання реального і віртуального експерименту дає змогу розширити можливості експерименту як виду наочності та джерела знань; підвищити зацікавленість учнів процесом пізнання, що забезпечує значне поліпшення ефективності навчання фізики; збільшити обсяг самотійної роботи – індивідуальної або групової; збільшити інформаційну насиченість навчального матеріалу; розвивати інтерес до дослідницької роботи; створення дидактичних основ технології дистанційного навчання, активізувати пізнавальну діяльність студентів [22, с. 209].

Учню, ґрунтуючись на результатах численних експериментів, рекомендується сформулювати самі по собі основні закони фізики. Взагалі кажучи, є два типи дій, які допомагають учні розвивають свої розумові здібності:

1. Проводячи лабораторні дослідження, студенти отримують можливість виконувати численні вимірювання і пов'язані з ними комп'ютерні оцінки фізичних величин;

2. Потім шляхом інтенсивних і активних дискусій або дебатів студенти інтерпретують нові факти та дані, щоб зробити їх значущими для себе. Це призводить до “відкриття” фундаментальних законів або фізичні закономірності.

Віртуальна лабораторія служить обчислювальною лабораторією для навчання фізики. Це складається з логічно взаємопов'язаних навчальних заходів, які допомагають учням:

- навчитися проводити чисельні вимірювання та оцінки досліджуваних процесів;
- обробляти і інтерпретувати дані (інформацію, факти), щоб зробити їх значущими для себе через інтенсивні обговорення;
- студенти навчаться писати формули і формулювати фундаментальні закони фізики [23 - 24].

Віртуальна лабораторія внесе свій внесок в процеси викладання та навчання наступним чином:

1. Надає можливість студентам вчитися на практиці;
2. Пропонує цікаві спонукальні заходи для відкриття;
3. Забезпечте жваву взаємодію в класі шляхом обговорень та дебатів;
4. Формує навички мислення та навички вирішення проблем учнів;
5. Відкриває широкий спектр можливостей для використання такого роду ресурсів для самостійного навчання. Його можна ефективно використовувати в дистанційному навчанні.

Рекомендовано використовувати віртуальні лабораторії наступними способами:

1. На початковому рівні можна використовувати анімовані об'єкти віртуальної лабораторії, як ідеальні демонстраційний інструмент для подання матеріалу про фізичні процеси. Для кращих результатів його слід поєднувати з класною роботою, практичні тести та експерименти.

2. У старших класах, коли студенти отримують базові знання та досвід з математики, їм пропонується провести тестування та оцінювання. Після цього проводяться інтенсивні обговорення результатів вимірювань та пов'язані з ними оцінки для формування власних фізичних висновків.

Віртуальна лабораторія підійде також для самостійного вивчення учнями фізичних процесів за допомогою тестів, розрахунків та виявлення їх законів і закономірностей. Таке застосування віртуальної лабораторії, безсумнівно, буде сприяти розвитку дослідницьких інтересів і навичок учнів і вдосконалення їх наукового мислення.

Є кілька питань, які можуть виникнути під час навчання фізиці з використанням віртуальних лабораторій, вони близько пов'язані з електронною готовністю вчителів і шкіл.

Перше питання пов'язане з досвідом і навичками викладацького складу. Це вимагає спеціальної підготовки (виробничої практики) для вчителів фізики, щоб вони могли управляти процесом електронного навчання учнів, а також керувати і контролювати процес накопичення знань учнями.

Друге питання пов'язане з наданням додаткових ресурсів і підтримки. Віртуальні лабораторії призначені для заміни всіх навчальних матеріалів. За кращі результати і успіхи учнів слід зазначити, що чисельні експерименти учнів з фізики явищ повинні бути доповнені або підкріплені елементарними експериментами в залежності від наявності об'єктів. Такі прості експерименти будуть істотно важливі для розуміння фізичних явищ [25].

Третя проблема пов'язана з апаратним забезпеченням. Для впровадження віртуальних лабораторій, як процес навчання в офлайн режимі, тобто на уроках фізики. Шкільні комп'ютери повинні бути обладнані Intel Pentium-IV і вище. Інструменти та мови програмування, такі як Delphi, C, C++, Java, C#, повинні бути встановлюються на комп'ютери разом з графічною бібліотекою OpenGL. Останнє, але не менш важливе питання може бути піднято про керівництво та адміністрацію школи. Для вчителів та тих, хто навчається, надзвичайно важливо, щоб директори шкіл та керівники навчальних закладів дійсно були зацікавлені у розумінні та впровадженні технологій, заснованих на ІКТ, у навчальних процесах.

Приклади віртуальних лабораторій через відкриті освітні ресурси:

1. Відкритий освітній ресурс MERLOT пропонує академічним факультетам, студентам та навчальним закладам широке сховище фізичних наук, математики та інженерних віртуальних лабораторій як доповнення звичайних експериментів, так і як самостійні лабораторні проекти.

2. Molecular Workbench надає безкоштовні віртуальні наукові лабораторії з відкритим вихідним кодом з сотнями симуляторів і інтерактивних можливостей для викладання і навчання з усіх дисциплін, включаючи біологію, фізику, хімію, біотехнології та нанотехнології. Вчителі можуть створювати і налаштовувати різні лабораторні моделі та вбудовану оцінку зі звітами в реальному часі. Ресурси доступні від початкових шкіл до вищих і вищих навчальних закладів. До них можна отримати доступ та завантажити безкоштовно.

3. PraxiLabs представляє освітнім установам і учням велику бібліотеку віртуальних хімічних та фізичних експериментів. Експерименти охоплюють загальну, аналітичну та органічну хімію і можуть проводитися без відповідних фізичних небезпек або високих витрат. Фізика охоплює такі області, як електрика, квантова механіка,

термодинаміка і інші, а також призначена для заохочення інтерактивності і взаємодії.

4. Точно так же Labster надає доступ до реалістичного досвіду, який дозволяє студентам проводити експерименти і практикувати свої навички в дружній і безпечної навчальному середовищі. У більш ніж сотні віртуальних лабораторій учні середніх і вищих шкіл можуть дивитися відео в зручний для них час для кращого засвоєння.

5. PhET - проект розроблений Університетом Колорадо. Проект включає велику безліч віртуальних лабораторій, які демонструють різні явища в області фізики, біології, хімії, математики, наук про Землю. Досліди мають високу пізнавальну цінність і при цьому дуже цікаві.

6. Virtual Labs - це проект розробки віртуальних лабораторних робіт для студентів з фізики, хімії, біології, екології. Віртуальні лабораторії реалізовані за допомогою допомога технології Flash. Їх відрізняє вузька спеціалізація, в більшості випадків лінійність досвіду (вся послідовність дій та результати експерименту встановлюються заздалегідь). Продукти VirtualLab мають освітню цінність і вирішують проблему ведення лабораторії робота за відсутності необхідного обладнання.

7. Віртуальна лабораторія загальної фізики Sunspire. Робота «Дослідження дифракційного спектра», передбачає інтерактивну демонстрацію дифракційного спектра за різних параметрах дифракційної ґратки. Під час вивчення дисципліни «Методика викладання фізики в вищій школі» віртуальні лабораторні роботи має сенс використовувати для порівняння різних форм організації практичних занять [26].

## РОЗДІЛ 3. ВИМІРЮВАННЯ ШВИДКОСТІ СВІТЛА У ВІРТУАЛЬНІЙ ФІЗИЧНІЙ ЛАБОРАТОРІЇ

### 3.1. Дослід О. Рьомера у віртуальній фізичній лабораторії

Швидкість світла буде визначена за допомогою методу, розробленого в 17 столітті Оле Ремером, використовуючи дані, отримані Джованні Кассіні. Діяльність полягає у спостереженні за часами затемнень супутника Іо, коли Юпітер знаходиться на більшій та на меншій відстані від Землі. Ми знаходимо дві дати, коли відстань між Юпітером та Землею буде відповідно більшою та меншою.

Віртуальну лабораторію по визначенню швидкості світла Рьомером, поводимо в застосунку CLEA Exercise.

У дату коли Юпітер на більшій відстані від Землі, спостерігаємо за часом затемнення супутника Іо. Потім використовуємо синодичний період супутника Іо, щоб передбачити затемнення через кілька місяців. Знаходимо час передбачуваного затемнення та порівнюємо передбачений час із спостережуваним часом. Оскільки світлу від Іо потрібно більше часу, щоб подолати відстань між Юпітером і Землею, коли вони знаходяться на більшій відстані, і меншій, коли вони знаходяться поруч, різниця в часі ( $\Delta T$ ) між передбачуваним і спостережуваним часом відповідає часу, коли світло мало пройти різницю на відстані ( $\Delta D$ ). Значення різниці у відстанях між Юпітером та Землею за дві дати та різниці в часі дозволяє прямо розрахувати швидкість світла:

$$c = \frac{\Delta D}{\Delta T} \quad (3.1)$$

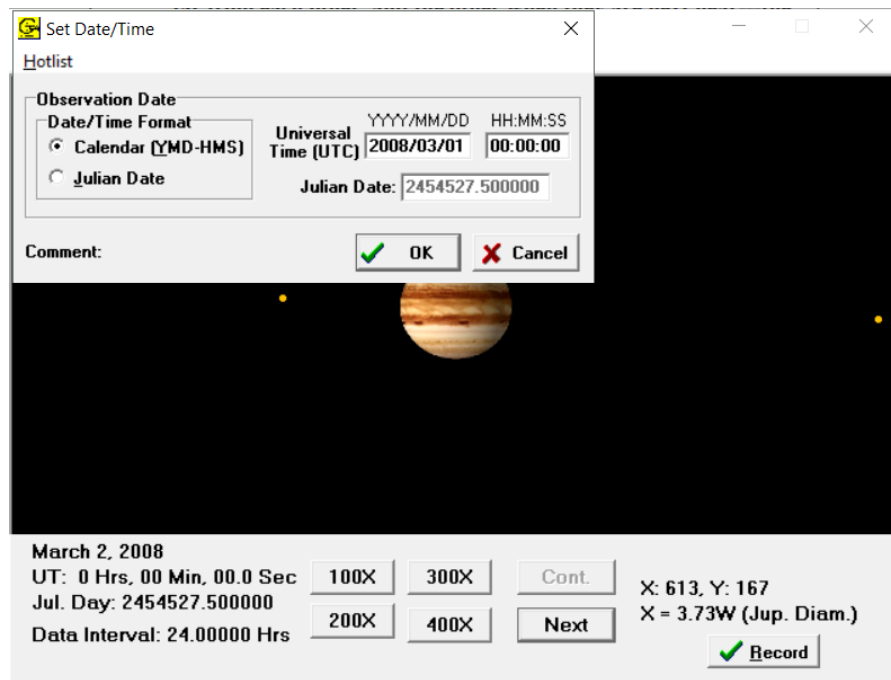


Рисунок 3.1. Віртуальний експеримент Рьомера

Хід лабораторної роботи:

1. Знайдемо дві дати, коли Юпітер і Земля перебувають на різних відстанях та позначимо їх відповідно, як  $D_1$  ,  $D_2$  .

$D_1 = 1$  березня 2008 р.

$D_2 = 31$  травня 2008 р.

Відносне положення Юпітера, Землі та Сонця для цих двох дат показано на схемі на рисунку 3.2 разом із відстанями між Юпітером та Землею.



Рисунок 3.2. Положення об'єктів

2. Знаходимо час затемнення Іо у період  $D_1$  у Григоріанському форматі: 2454527.255069

3. Підрахуємо, скільки орбіт здійснить Іо від  $D_1$  до  $D_2$  :

$$N = \frac{(D_2 - D_1)}{\text{Синодичний період Іо}}$$

де  $N$  – кількість орбі.

$$T = 1.769861 \text{ днів,}$$

де  $T$  - синодичний період Іо.

$$N = \frac{(31 \text{ травня } 2008 \text{ р.} - 1 \text{ березня } 2008 \text{ р.})}{1.769861 \text{ днів}}$$

$$N = \frac{91 \text{ днів}}{1.769861 \text{ днів}} = 51.42 \quad (3.2)$$

Формула 3.2 це кількість орбіт, які здійснить Іо, щоб перейти від першого затемнення на  $D_1$  до передбачуваного затемнення у період  $D_2$ .

4. Обчислимо інтервал часу від першого затемнення до передбачуваного затемнення:

$$t = N \cdot T,$$

де  $t$  – час передбачуваного затемнення.

$$t = N \cdot T = 51 \text{ орбіт} \cdot 1,796861 \text{ днів на орбіту} = 90.262904 \text{ днів.}$$

5. Обчислити число Юліанських днів  $n$  передбачуваного затемнення у період найближчої дати  $D_1$  :

$$D_2 = n + t$$

$$D_2 = 2454527.255069 + 90.262904 = 2454617.517973$$

6. Спостерігаємо передбачуване затемнення  $D_2$  :

Ми починаємо свої спостереження з Юліанського дня 2454617.417973. Потім повільно просуваємо час, щоб зловити передбачуване затемнення за кілька хвилин до передбачуваного часу.

Розрахуємо час затемнення Іо, яке відбувається в період  $D_1$ .

$$t_c = 2454617.508208,$$

де  $t_c$  - час спостережуваного затемнення



7. Знайдемо різницю в часі між передбачуваним затемненням  $t$  і спостережуваним затемненням  $t_c$ :

$$\Delta t = t_c - t$$

$$\Delta t = 2454617.508208 - 2454617.517973 = - 0.009765 \text{ days}$$

$$\Delta t = - 14.1 \text{ хвилин}$$

Від'ємне значення вказує на те, що затемнення сталося раніше передбаченого часу.

8. Знайдемо зміну відстані між Юпітером та Землею від  $D_1$  до  $D_2$ :

$$D_1 = 5.71785; D_2 = 4.39149$$

$$\Delta D = D_1 - D_2; \Delta D = 5.71785 - 4.39149 = 1.32636$$

9. Обчислимо швидкість світла  $c$ :

$$c = \frac{\Delta D}{\Delta T}; c = \frac{1.32636}{14.1} = 0.094327$$

$$c = 2.34 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

10. Порівняємо свої дані з  $c_{\text{таб}}$ :

$$\varepsilon = \frac{c - c_{\text{таб}}}{c_{\text{таб}}} \cdot 100\%$$

$$\varepsilon = \frac{2.34 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}} - 3.00 \times 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{3.00 \times 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}} \cdot 100\% = - 21\%$$

### 3.2. Експериментальна реконструкція досліду А. Фізо у віртуальній фізичній лабораторії

Рівняння для швидкості:

$$c = 4nNd \tag{3.3}$$

Це основне рівняння, що описує, як працює установка Фізо. Важливо зазначити, що це рівняння для світла, який повинен перекрити наступний зубець. Звичайно, світло може бути заблоковано другим чи третім наступним зубцем, або навіть зробити повний оберт, перш ніж його заблокує зубець [27, с. 10].

Найважливішим елементом експерименту є, безперечно, зубчасте колесо. Фізо попросив у свого майстра дерев'яне колесо із 720 зубцями. Використовуючи годинниковий механізм, він зміг обертати колесо зі швидкістю 12,6 обертів в секунду або 756 обертів в хвилину. Джерелом світла, який використовував Фізо, був ліхтар, який, як можна уявити, природно розходитьсся, а саме світло є колімізованим. Для того, щоб зібрати світло і сфокусувати світло в промінь, Фізо використав кілька фокусуючих лінз. Відстань, яку використовували, повинна була бути дуже великою. Фізо встановив своє дзеркало, що відбиває, приблизно на 8 633 метри від зубчастого колеса, завдяки чому імпульси світла здійснили 17 266 метрів кругообігу.

Даний експеримент ми проведемо в симуляції, яка була опублікована на ресурсі GitHub. За посиланням:

1. <https://github.com/Tosbert/FizeauExperimentSimulation>

проект, написаний на мові програмування Java. Для запуску проекту потрібно мати встановлену на своєму комп'ютері дану мову програмування.

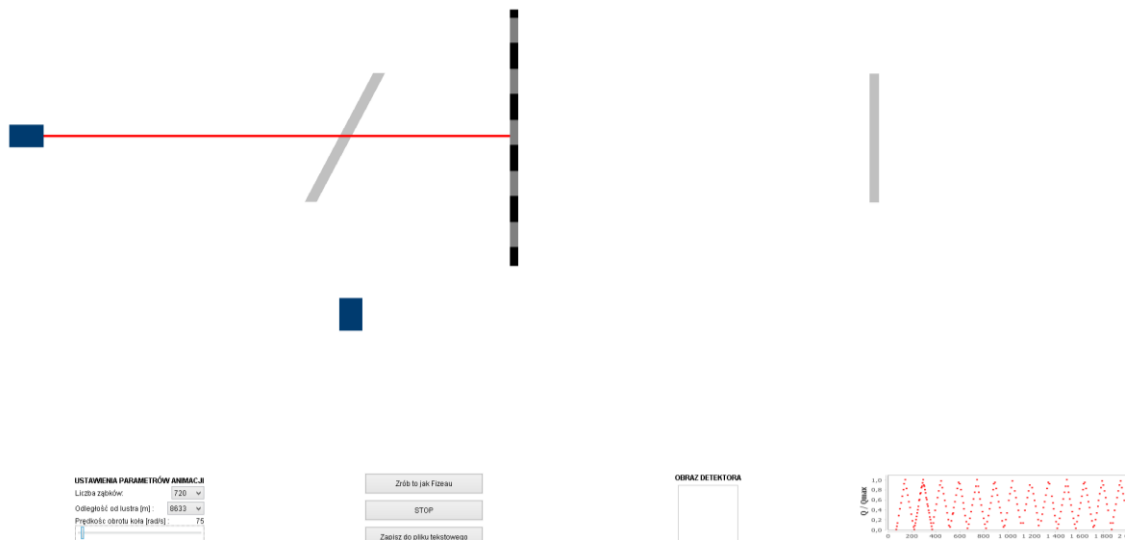


Рисунок 3.3. Віртуальний експеримент Фізо

Опис віртуальної установки Фізо зображено на рисунку 3.4.

1. Перший блок – кількість зубців.

2. Другий блок - відстань від дзеркала.
3. Третій блок – швидкість обороту кола в радіанах за секунду.

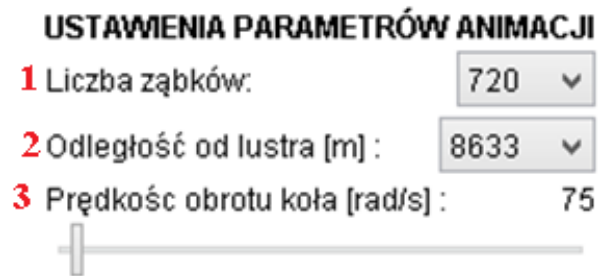


Рисунок 3.4. Опис віртуальної установки Фізо

Хід роботи:

1. Для віртуальної реконструкції експерименту Фізо вводимо такі вхідні параметри досліджу:

- Кількість зубців 720.
- Відстань від дзеркала 8633 м.
- Швидкість обороту кола 75 в радіанах за секунду.

2. Радіани за секунду переводимо в кількість обертів за секунду.

3. Підставляємо вихідні параметри до рівняння. І отримаємо результат Фізо:

$$\begin{aligned}
 c &= 4 \cdot (8,633 \text{ м}) \cdot (720 \text{ зубців}) \cdot (12.6 \text{ обертів в секунду}) = \\
 &= 313,274,304 \text{ м/с}
 \end{aligned}$$

### 3.3. Вимірювання швидкості світла методом Д. Берардо

Хід роботи:

1. Розглянемо фізичний експеримент Д. Берардо на знаходження швидкості світла за допомогою мікрохвиль. Мікрохвилі є формою електромагнітного випромінювання, як і світло, але вони перебувають поза видимим спектром, тому ми не можемо їх бачити. Мікрохвильова

піч працює, створюючи стоячу хвилю в мікрохвильовій печі. Для знаходження швидкості світла за допомогою мікрохвилі треба скористатися формулою:

$$\lambda = c \cdot T = \frac{c}{\nu}$$

$$c = 2 \cdot \lambda \cdot \nu,$$

де  $c$  – швидкість світла,

$\lambda$  – довжина стоячої хвилі,

$\nu$  – частота коливань хвилі.

2. Наступним кроком потрібно знайти довжину стоячої хвилі. Стоячі хвилі утворюються в мікрохвильовій печі. Саме тому в кожній мікрохвильовій печі є обертовий стіл - в іншому випадку їжа прогрівається б тільки в районі пучностей, а близько вузлів залишалася б холодною. Для такого досліду блюдо потрібно прибрати. Постелити на дно печі серветку і встановити на пару картонних підставок плитку шоколаду. Чим більше плитка, тим краще: велика площа підвищує шанси виявити пучности.

3. Скористаємося речовиною, яка легко плавиться (шоколад) і помістимо його в мікрохвильову піч на 20 секунд. Піки стоячих хвиль утворюють точки, в яких найбільше оплавився шоколад. Довжина стоячій хвилі буде дорівнює відстані між двома отворами. Частота коливань хвилі вказана на мікрохвильовій печі.



Рисунок 3.5. Експеримент з шоколадкою по визначенню швидкості світла.

4. Підставляємо вихідні дані в формулу.

Довжина стоячої хвилі =  $\sim 0.06$  м.

$$c = 0.06 \cdot 2 \cdot 2450 \cdot 10^6 = 294\,000\,000 \text{ м/с}$$

5. Знаходимо похибку за формулою:

$$\varepsilon = \frac{c_{\text{табл}} - c_A}{c_{\text{таб}}} \cdot 100\%$$

$$\varepsilon = \frac{299\,792\,458 \text{ м/с} - 294\,000\,000 \text{ м/с}}{299\,792\,458 \text{ м/с}} \cdot 100\% ; \varepsilon = \sim 2\%$$

Перенесемо розрахунки у віртуальну фізичну лабораторію WOLFRAM Demonstrations Project для знаходження швидкості світла. В ній використовується інша речовина, але дослід ідентичний.

На рисунку 3.6 зображений експеримент знаходження швидкості світла за допомогою електромагнітних хвиль, де “distance between meltspots cm” – раніше знайдена довжина стоячої хвилі, “frequency of microwave MHz” – частота мікрохвильової печі, “estimated speed of light” – отримана швидкість світла, “actual speed of light” – актуальна швидкість світла.

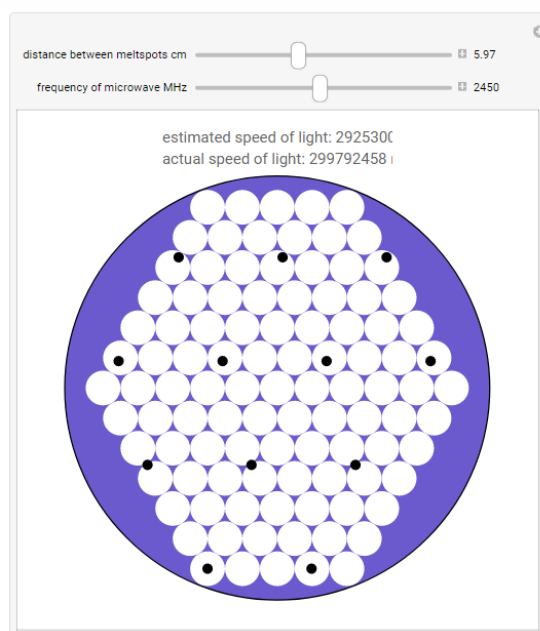


Рисунок 3.6. Експеримент для визначення швидкості світла за допомогою маршмеллоу

На рисунку 3.6 зображені згенеровані точки плавлення на речовині. Відстань між ними 6 см. Частота мікрохвильовій печі 2450 МНz

Як ми бачимо, отримана швидкість світла приблизно дорівнює актуальною швидкості світла з похибкою 2%.

Доповнення до всього, за допомогою даного віртуального експерименту, можна підібрати власні значення довжини хвилі і частоти мікрохвильовій печі, якщо в цьому буде необхідність.

Потрібно відзначити, що провівши два експерименті по визначенню швидкості світла в речовині (шоколадка і маршмеллоу), можна побачити необхідність саме в змішаних лабораторних роботах на уроці фізики.

Проводячи традиційний експеримент, учні розуміють більше детальніше схему досліду, вони можуть спостерігати як саме в змінюється шоколадка. А в віртуальній лабораторії, учні можуть спостерігати процеси, які відбуваються всередині.

## ВИСНОВКИ

1. Розглянуті досліди Рьомера, Фізо та Берардо в історичному контексті.

2. Після детального дослідження літератури з питання «доцільність використання віртуальної фізичної лабораторії під час вивчення фізики у закладах середньої освіти», можна прийти до висновку що, найкращі результати в процесі навчання можуть бути досягнуті при використанні змішаного методу навчання, тобто застосовувати на уроках фізики віртуальна лабораторію разом з традиційним методом.

3. Відтворені експерименти Рьомера, Фізо та Берардо у віртуальній фізичній лабораторії.

Одною із головних проблем є те що, на даний момент часу не всі теми можна реконструювати у віртуальних фізичних лабораторій, недостатня кількість розроблених матеріалів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Томилин К.А. Фундаментальные физические постоянные в историческом и методологическом аспектах / Константин Александрович Томилин. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 368 с.
2. Creativity and Technology in Experimentation: Fizeau's Terrestrial Determination of the Speed of Light
3. Швидкість світла [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:  
<https://www.aps.org/publications/apsnews/201007/physicshistory.cfm>
4. Обертове колесо Фізо [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://www.schoolphysics.co.uk/age16-19/Wave%20properties/Wave%20properties/text/Speed\\_of%20light/index.html](https://www.schoolphysics.co.uk/age16-19/Wave%20properties/Wave%20properties/text/Speed_of%20light/index.html)
5. Голин Г.М. Вопросы методологии физики в курсе средней школы / Генрих Моисеевич Голин. – М. : Просвещение, 1987. – 127 с.
6. Окунь Л.Б. Фундаментальные константы физики / Л.Б. Окунь // Успехи физических наук. – 1991. – Т. 161, №9. – С. 177-194.
7. Спиридонов О.П. Фундаментальные физические постоянные / Олег Павлович Спиридонов. – М. : Высшая школа, 1991. – 238 с.
8. Атаманчук П. Элементы интерактивных технологий обучения физике : учеб. пособ. / П.С. Атаманчук, П.И. Самойленко, Н.Л. Сосницкая. – М. : АПК и ППРО, 2007. – 184 с
9. Гончаренко С.У. Формування наукового світогляду учнів під час вивчення фізики / С.У. Гончаренко. – К. : Рад. шк., 1990. – 208 с
10. Швидкість світла [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://twitter.com/SarlCagan93/status/1307760753265512448>.



11. Шарко В.Д. Мотиваційний аспект методичної підготовки вчителя сучасної школи // Вісник Чернігівського державного пед. університету. Випуск 23. Серія: Педагогічні науки. - Чернігів, 2004. - С.244-251.
12. Леонтьев А.Н. Проблемы развития психики. - М.: Изд-во Моск. ун-та, 1965. - 301 с.
13. Рябченко Ж.В. Використання комп'ютера під час проведення уроків досліджень. // Фізика в школах України. – Основа, 2010, №11 – 12.
14. Сіденко О.М. Застосування сучасних ІКТ під час проведення фізичного практикуму. Використання прикладного програмного забезпечення на уроках фізики з метою підвищення рівня навчання. // Фізика в школах України. – Основа, 2008, № 4.
15. А.В. Трухин. «Об использовании виртуальных лабораторий в образовании» // Открытое и дистанционное образование. – 2002. – № 4 (8)
16. Лозова В.І. Пізнавальна активність школярів. - Харків: Основи, 1990. – 87 с.
17. Ручков А.А. Информационные технологии в современной системе образования/ А.А. Ручков // Вестник Пензенского государственного университета. Гуманитарные исследования. – 2015. – № 1 (9). – С. 57–60.
18. Губський Є.Г. Виртуальный лабораторный комплекс по физике. Разделы механика и термодинамика/ Є.Г. Губський // Научнометодические проблемы и новые технологии образования. Энергобезопасность и энергосбережение. – 2009. – №1(25). – С. 41– 43.
19. Тимченко О.Т. Самостійна робота як дидактична категорія // Педагогіка і психологія. - 2001. - №3-4. - С.64-68.

20. Калошин В.Ф. Роль пошукової активності в розвитку та самореалізації особистості // Освітній дайджест. - 2005. - № 1-2(4-10). - С.54-60.
21. Як вимірюється швидкість світла? [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:  
[https://math.ucr.edu/home/baez/physics/Relativity/SpeedOfLight/measure\\_c.html](https://math.ucr.edu/home/baez/physics/Relativity/SpeedOfLight/measure_c.html)
22. Шамова Т.И. Активизация учения школьников. - М.: Педагогика, 1982. - 209 с.
23. О. Lhagva, Kh. Otgonmunkh, Т. Ulambayar, Kh. Tsookhuu, L. Erdenetuya, Modeling Laboratory for Physics and Distance Learning, Proc. Int. Confer. Future of Open and Distance Learning in Mongolia, 2-4, Nov, 2005, Supported by UNESCO, Ulaanbaatar, Mongolia. 322
24. О. Lhagva et al. Virtual Laboratory and Physics Training, Proc. International Conference on e-Learning for National Development. 2006, Ulaanbaatar, Mongolia.
25. О. Lhagva, P.Enkhtsetseg, 3D computer model of light diffraction. Mongolian-German Workshop on Advanced Materials. Mathematics and Science education, September 2011. Ulaanbaatar, Mongolia.
26. Савгира С.М. Використання ІКТ на уроках фізики. // Фізика в школах України. – Основа, 2010, № 18.
27. Трофимова Т.И. Курс фізики / Т. И. Трофимова. – 11-е изд., стер. – М.: Академия, 2006. – 560 с.

**ДОДАТКИ****Додаток А**