

EXPERIMENTO DOCENTE DEMOSTRATIVO PARA MOTIVAR EL ESTUDIO DE LA RADIOACTIVIDAD CON ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN

DEMONSTRATIVE TEACHING EXPERIMENT TO MOTIVATE THE STUDY OF RADIOACTIVITY WITH A RESEARCH APPROACH

J.B. CRUZ-ARENCIBIA^{✉†}, J. J. LLOVERA-GONZÁLEZ[✉], A. D. RODRÍGUEZ-LLERENA[✉]

Instituto de Ciencias Básicas, Departamento de Física, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (CUJAE), 19390 La Habana, Cuba.
juan@icb.cujae.edu.cu

†para la correspondencia

Recibido 16/7/2025; Aceptado 14/11/2025

Se propone un experimento demostrativo sobre el tema radiactividad donde se aplica el enfoque de aprendizaje por investigación. En el experimento se utilizan una fuente radiactiva (^{90}Sr), contadores Geiger – Müller, imanes y electroimanes. Mediante una conversación heurística se propicia que los estudiantes lleguen, entre otras conclusiones, a descubrir la presencia de partículas cargadas eléctricamente en la emisión radiactiva estudiada. El experimento se realizó un mes antes de que los estudiantes comenzaran a recibir formalmente el contenido de física nuclear, último tema de la asignatura Física 3 (Física Moderna) que reciben los estudiantes de ingeniería. Mediante encuesta realizada en los primeros minutos de la clase-conferencia donde se introduce el tema se pudo comprobar que un alto porcentaje de los estudiantes recordaba las características fundamentales del proceso de desintegración radiactiva del isótopo objeto de estudio.

A demonstrative experiment on radioactivity is proposed, applying a research learning approach. The experiment utilizes a radioactive source (^{90}Sr), Geiger-Müller counters, magnets, and electromagnets. Through heuristic discussion, students are guided to discover, among other things, the presence of electrically charged particles in the studied radioactive emission. The experiment was conducted one month before the students formally began their nuclear physics course, the final topic in the Physics 3 subject (Modern Physics) for engineering students. A survey conducted during the first few minutes of the lecture introducing the topic revealed that a high percentage of students recalled the fundamental characteristics of the radioactive decay process of the isotope under study.

Keywords: Demonstration experiments (experimentos demostrativos), general physics (física general), radioactive beams (haces radiactivos), physics education (enseñanza de la física)

I. INTRODUCCIÓN

La celeridad con que se ha producido el desarrollo científico técnico desde finales del siglo XIX conlleva a que la enseñanza de la Física demande cada vez más un uso abarcador e intencionado del aprendizaje con enfoque en la investigación. En un curso dictado por Llovera y del Castillo, en el Congreso Internacional de Educación Superior “Universidad 2020”, se destaca como tendencia en la enseñanza de la Física: “La aplicación del método experimental reflejando un progresivo aumento del nivel de complejidad y del grado de independencia de los estudiantes a través de la disciplina en los laboratorios docentes” [1], otros autores como Tecpan [2] y Sarmiento [3] han experimentado propuestas similares.

El descubrimiento y las aplicaciones de la radiactividad constituye uno de los avances científico técnico que más ha impactado en la sociedad. La inclusión de esta temática en la enseñanza de la Física se revela en dos tendencias en la literatura docente, una de estas propone abordar el tema con carácter informativo en los diferentes niveles de educación. Corbelle y Domínguez plantean, “Los aspectos relacionados con la radiactividad suelen estar de actualidad, pues existe un debate casi permanente sobre el uso de la energía nuclear para

la producción de energía eléctrica y la problemática asociada con los residuos generados” [4], esta vertiente también se puede apreciar en otros autores [5–7].

La otra tendencia aboga por la realización de prácticas de laboratorios que pueden llevarse a cabo con recursos relativamente económicos y asequibles. Según Koike, et. al. “Naturally radioactive sources were developed using three easily available and familiar substances: potassium chloride, instant coffee, and kelp. The radiation fields that they generated were actual measurements using various instruments to adapt the sources to school radiation education” [8]. Enfoques semejantes se encuentran en [9–11].

En el artículo se presenta una concepción didáctica de un experimento demostrativo con enfoque de investigación sobre el tema radiactividad que promueve el espíritu investigativo de los estudiantes rompiendo así el paradigma tradicional basado en experimentos “prefabricados” que limitan la actividad independiente de estos. Dicho experimento y concepción se identificarán como: Experimento Demostrativo con Enfoque de Investigación (EDEI).

II. DESARROLLO

Los objetivos del EDEI tienen su fundamento en algunas de las propiedades esenciales de la radiactividad como el carácter multidireccional y aleatorio del proceso de emisión y la existencia de partículas cargadas eléctricamente en el haz de radiación emitido. El EDEI trata, además, de propiciar independencia en la labor de investigación de los estudiantes y motivar el estudio del tema en la disciplina.

II.1. Concepción didáctica del EDEI.

Se sustenta en dos pilares fundamentales:

1. Sistema experimental concebido para el EDEI.
2. Una conversación heurística.

II.1.1. Sistema experimental para el EDEI.

Los elementos básicos del sistema experimental se muestran en la figura 1.

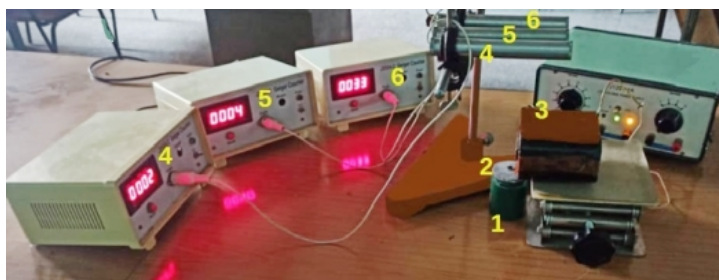


Figura 1. Sistema experimental para el EDEI. 1- Recipiente de plomo con fuente ^{90}Sr , (Fuente). 2- Tapa de plomo con orificio (colimador) 3- Electroimán con fuente de voltaje regulable. 4-5-6- contadores Geiger-Müller con sus respectivos detectores, (contadores G-M).

II.1.2. Propuesta de conversación heurística.

La conversación heurística promueve el desarrollo de las capacidades del pensamiento independiente mediante dificultades concretas que estimulan el razonamiento dialéctico y la búsqueda científica [12].

Para propiciar su mejor conducción se han elaborado dos documentos:

- *Orientaciones metodológicas para profesores.* Se propone un conjunto de preguntas y acciones que debe realizar el profesor durante la actividad experimental que desarrollarán los estudiantes.
- *Sugerencia de tareas investigativas a los estudiantes.* En este se definen los principales objetivos del EDEI a la vez que se proponen (se sugieren) un conjunto de acciones experimentales que permitan dar respuesta a los objetivos previstos. En el documento se ha insertado

un esquema como el que aparece en la figura 2 de modo que los estudiantes se hayan familiarizado previa y parcialmente con la radiactividad.

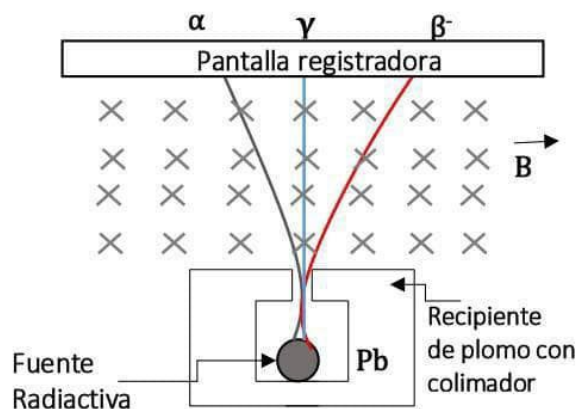


Figura 2. Tipos de radiactividad (Elaboración propia)

II.2. Primera realización del EDEI. (Procedimiento experimental y etapas de la conversación heurística desarrollados en la actividad).

Este artículo presenta la actividad desarrollada a finales de octubre 2023 con los estudiantes de segundo año de la especialidad de Ingeniería en Telecomunicaciones de la CUJAE. Para esta primera vez los estudiantes contaban con el instructivo: “Experimento de Laboratorio No. 4: Comprobación experimental de la ley de absorción de la radiación natural β^- en aluminio y cobre” tomado de [13] y que forma parte del sistema de “Instructivos para el laboratorio” del departamento de Física de la CUJAE. Adicionalmente se orientó repasar el contenido relacionado con el movimiento de partículas con carga eléctrica en un campo magnético tratado en la asignatura de Física 2.

II.3. Procedimiento que se utilizó para la primera realización del EDEI.

El procedimiento que a continuación se describe fue concebido para servir de base a la conversación heurística motivacional. Las acciones siguientes fueron realizadas por orientación del profesor ante grupos pequeños de no más de 12 estudiantes y están en correspondencia con las etapas en las que se organizó dicha conversación. Dichas acciones son:

1. Identificar los componentes básicos del sistema experimental.
2. Colocar los contadores G-M paralelamente entre sí (separados dos o tres centímetros uno del otro) y a una distancia entre 15 cm y 20 cm por encima de la Fuente totalmente tapada. Activar los contadores y anotar los conteos que estos reportan al cabo de 30 segundos.

3. Repetir el paso 2 alejando la Fuente hacia uno y otro lado de los contadores G-M (tres o más posiciones diferentes). Anotar los valores de los conteos.
4. Se orienta denominar conteo de fondo al promedio de los conteos obtenidos en los pasos 2 y 3.
5. Repetir los pasos 2 y 3 con la Fuente totalmente destapada. Inicialmente colocar la cápsula que contiene al ^{90}Sr lo más próximo posible a la parte superior del recipiente de plomo.
6. Colocar la placa de plomo horadada sobre la Fuente para lograr la colimación. Situar la Fuente colimada debajo de cada uno de los contadores G-M y cada vez hacer conteos durante 30 segundos.
7. Colocar la Fuente colimada debajo del sensor central y dejarla en esa posición.
8. Pedir a los estudiantes que analicen cómo colocar el electroimán a la salida del colimador de modo que con los detectores se pueda determinar si esto tuvo algún efecto sobre el haz emitido.
9. Invertir la conexión del electroimán a su fuente de modo que se invierta la polaridad del campo magnético.
10. Cambiar ligeramente la distancia entre los sensores laterales respecto al central.
11. Cambiar el valor y la polaridad del voltaje que proporciona la fuente. Opcionalmente se recomienda retirar y colocar alternativamente el núcleo de hierro dentro de la bobina.

II.4. Etapas para la realización del EDEI mediado por la conversación heurística.

Para la realización del EDEI, la conversación heurística se concibió en varias etapas que se han denominado con letras mayúsculas. Una clave importante consiste en que no se explica en ningún momento el principio físico del funcionamiento de los contadores G-M lo que forma parte de la investigación.

II.4.1. Etapa A

Con la realización de las acciones de la 2 a la 6 se pretende que los estudiantes puedan concluir que el incremento en el valor de los conteos que muestran los contadores G-M se debe a la presencia de la fuente radiactiva y que no existe una dirección preferencial en la emisión de esta. En la etapa se formulan preguntas tales como:

- ¿Cuando la fuente está bloqueada la cantidad de conteos mostró cambios apreciables en relación con la distancia fuente-sensores?

- ¿Cambió significativamente la cantidad de conteos al variar la distancia entre fuente no bloqueada y los contadores G-M?
- ¿Son aleatorios los conteos registrados?
- ¿Podría la aleatoriedad de los conteos tener su causa en la aleatoriedad de la emisión de la fuente?
- ¿La emisión de la fuente tiene una dirección preferencial?

II.4.2. Etapa B

La acción 6 tiene como objetivo central que los estudiantes puedan concluir si se ha logrado colimar el movimiento de las partículas, en esta etapa se realizan preguntas como:

- ¿Qué detector registra más cantidad de conteos?
- ¿Existe alguna dependencia entre la cantidad de conteos y la posición de “alineación” fuente sensor?
- ¿Son aleatorios los conteos?

II.4.3. Etapa C

Esta etapa se relaciona con las acciones 7, 8 y 9, aquí el objetivo fundamental está asociado a la posibilidad de establecer experimentalmente si en la emisión radiactiva existen partículas cargadas eléctricamente o no. Algunas posibles preguntas son:

- ¿La presencia del electroimán produjo algún efecto en la trayectoria de las partículas?
- ¿Se puede llegar a conclusiones acerca de la naturaleza eléctrica de algunas partículas de la emisión?
- ¿Se puede concluir que todas las partículas del haz poseen carga eléctrica?
- ¿Se puede determinar qué tipo de carga eléctrica poseen las partículas cargadas?
- ¿Se puede considerar que las únicas partículas que llegan a los sensores son las que proceden de la fuente?

II.4.4. Etapa D

Esta etapa, que está asociada a la acción 10, tiene un objetivo más sutil, aquí se pretende que el estudiante valore si con el experimento se puede establecer que en la emisión radiactiva todas las partículas tienen o no tienen la misma energía.

Una vez establecida la presencia de carga eléctrica en al menos una parte de las partículas del haz, el profesor debe promover la discusión encaminada a que los estudiantes recuerden con qué parámetros está relacionado el radio del arco de circunferencia que tienden a describir las partículas al pasar por un campo magnético.

Posibles preguntas para esta etapa:

- ¿Se aprecian diferencias entre la cantidad de conteos al cambiar la separación horizontal entre los detectores?
- Si la respuesta es afirmativa ¿Es esto un indicador de que no todas las partículas se mueven con la misma velocidad?
- Si la respuesta es afirmativa ¿Para qué posición relativa del sensor lateral arriban más cantidad de partículas a este, cuando está más cerca o más lejos del central?
- ¿Se puede concluir que en el haz de partículas, las cargadas eléctricamente se mueven con diferentes velocidades?

II.4.5. Etapa E

Esta etapa, asociada a la acción 11, tiene como objetivo consolidar conocimientos adquiridos en la asignatura anterior sobre las características fundamentales del campo magnético asociado a una bobina con corriente y su efecto en el movimiento de partículas cargadas.

Apoyándose en el hecho de que en la emisión radiactiva hay partículas que poseen carga eléctrica, se pide a los estudiantes que valoren de modo cualitativo cómo es el grado de desviación de la trayectoria que experimentan las partículas en función del voltaje aplicado al electroimán y como este hecho está relacionado con la intensidad de su campo magnético. Del mismo modo, se puede fijar el voltaje, por ejemplo en el valor máximo posible, y valorar el efecto que se produce cuando está colocado el núcleo de hierro y cuando no lo está.

II.5. Primera realización del EDEI. (Algunos datos complementarios y una valoración de la efectividad de este)

II.5.1. Datos complementarios.

En esta primera oportunidad el EDEI se incluyó como parte de la práctica de laboratorio sobre radiactividad. La actividad se organizó de modo que el profesor pudiese desarrollar el EDEI durante unos 20 minutos frente a grupos de no más de 12 estudiantes. Se realizaron 8 sesiones de presentación del EDEI en un mismo día de clase donde estuvieron presentes un total de 89 estudiantes. El profesor trató de garantizar que cada uno de los estudiantes respondiera las preguntas y sobre todo propició que estos propusieran acciones e ideas que consideraran pudieran ser de utilidad para el desarrollo e interpretación del experimento.

El experimento se efectuó alrededor de un mes antes de que se comenzara a impartir la primera conferencia sobre el tema de la radioactividad. Al finalizar cada sesión del EDEI el profesor informó que la fuente radiactiva utilizada fue el isótopo ^{90}Sr , y sugirió que buscaran en internet y en textos de Física las características radiactivas de este isótopo así como que fueran pensando en posibles respuestas a preguntas tales como: ¿Por qué en la Cujae se han podido utilizar esas

fuentes radiactivas durante más de 40 años? ¿Será posible que todavía puedan ser utilizadas para el 2060 a casi 100 años de fundada la Universidad? Como tareas de cierre deben dejarse las siguientes:

- Formule una hipótesis sobre el principio físico de funcionamiento del detector G-M y haga una consulta bibliográfica sobre este tema para verificarla.
- Investigue el proceso de desintegración del estroncio 90 (^{90}Sr) y analice de dónde pueden provenir las partículas beta que están detectándose atendiendo a la energía máxima de estas.

II.6. Valoración de la efectividad de la primera realización del EDEI.

Como criterio para la comprobación de la efectividad del EDEI acerca de la motivación hacia el tema y de lograr un aprendizaje más sólido y significativo se tomaron las respuestas dadas a una encuesta abierta y no avisada aplicada durante los 15 minutos iniciales de la primera conferencia sobre física nuclear.

II.7. Sobre la encuesta aplicada.

II.7.1. Población y muestra.

En el EDEI participaron 89 estudiantes de un total de 96 matriculados en la Física 3. De los 89 que participaron en el experimento fueron encuestados los 77 que asistieron a la conferencia prevista para ese día.

II.7.2. Encuesta aplicada.

La encuesta, de enunciado abierto, pero no anónima, consistió en una única orden en la que textualmente se les pidió a los estudiantes:

"Escriban todo lo que recuerden acerca del experimento demostrativo sobre radiactividad que se realizó hace un mes durante la última clase en el laboratorio"

Para hacer una valoración sobre los resultados a partir de la encuesta se escogió un conjunto de indicadores teniendo como base los objetivos del EDEI y las preguntas que se formularon a los estudiantes durante la conversación heurística desarrollada durante la realización del EDEI.

II.8. Indicadores identificados para valorar el grado de apropiación del contenido del experimento.

La encuesta fue estructurada para medir resultados en los siguientes indicadores:

- A. Si manifestaron o no el carácter aleatorio de la emisión radiactiva.

- B. Si refieren o no que en la emisión radiactiva parecía haber partículas sin carga eléctrica.
- C. Si identificaron o no el tipo de carga eléctrica que mayoritariamente se percibió en las partículas emitidas.
- D. Si identificaron que no todas las partículas se movían con igual rapidez.
- E. Si recordaban con mayor o menor precisión el efecto del campo magnético en la trayectoria de las partículas con carga eléctrica.
- F. Si hicieron referencia a que las partículas emitidas por la fuente se movían en cualquier dirección o en cierta dirección preferencial.
- G. Estudiantes que mostraron no recordar nada o casi nada del experimento realizado.

Fabián Guzmán Barreda TL-22 #9
 se colocó un elemento radiactivo bajo 3 detectores, el elemento estaba cubierto por láminas metálicas para dirigirlos lo más recto posible, al colocarlo lo más recto posible con un detector se notaba que este recibía la mayor cantidad de radioactividad y a los detectores colocados a un lado recibían muy poco. Al colocar una bobina cerca del elemento radioactivo y aplicarle un campo magnético se podía detectar como las partículas se desviaban y siguiendo la dirección de campo magnético y aplicando la regla de la mano derecha se pudo analizar la carga de las partículas que en este caso eran electrones.

Figura 3. Facsímil de la respuesta de un estudiante a la encuesta.

Transcripción del facsímil.

Fabián Guzmán Barreda TL 22 #9:
 Se colocó un elemento radiactivo bajo tres receptores, el elemento estaba cubierto por láminas metálicas para dirigirlos lo más recto posible, al colocarlo lo más recto posible con un detector se notaba que este recibía la mayor cantidad de radioactividad y a los detectores colocados a un lado recibían muy poco. Al colocar una bobina cerca del elemento radioactivo y aplicarle un campo magnético se podía detectar como las partículas se desviaban y siguiendo la dirección de campo magnético y aplicando la regla de la mano derecha se pudo analizar la carga de las partículas que en este caso eran electrones.

II.9. Resultados de la encuesta.

Teniendo en cuenta que la encuesta fue totalmente abierta, cada uno de los indicadores se valoró únicamente a dos niveles a saber, si el estudiante hizo referencia al indicador o si no lo hizo. Los principales resultados de la encuesta se recogen en las Tablas 1 y 2.

Tabla 1. Porcentaje de estudiantes por cada indicador identificado.

Indicadores	Cantidad de estudiantes que refieren cada indicador	% respecto a los 77 encuestados
A	21	27.3
B	32	41.6
C	51	66.2
D	30	39.0
E	37	48.1
F	15	20.8
G	11	14.3

Tabla 2. Cantidad de indicadores identificados por estudiantes.

Cantidad de estudiantes que identificaron indicadores (66)	Cantidad de Indicadores identificados	% respecto a los 66 que identificaron al menos un indicador
12	1	18.2
10	2	15.2
23	3	34.8
19	4	28.8
2	5	3.0

II.10. Muestra de respuesta dada por uno de los estudiantes.

La figura 3 muestra una imagen facsimilar de la respuesta dada por uno de los estudiantes cuyo texto se transcribe a continuación.

II.11. Valoración de los resultados de la encuesta.

Dado el carácter abierto y sorpresivo de la encuesta se considera que los resultados de la misma son positivos. En la Tabla 1 se puede apreciar que un poco más del 85 % de los estudiantes encuestados hicieron referencia al menos a uno de los indicadores evaluados. Si se tiene en cuenta además, que en la encuesta participaron 77 de los 89 que tomaron parte en el EDEI, entonces se puede plantear que alrededor del 75 % manifestó recordar algo de lo que se investigó en el experimento.

Por otro lado, en la misma tabla se puede constatar que el 66.2 % de los encuestados recordó el tipo de carga eléctrica en la emisión radiactiva y casi el 50 % habló acerca del efecto del campo magnético sobre el movimiento de las partículas. Este resultado permite concluir que la acción 11 propicia una consolidación del tema movimiento de partículas electrizadas en campos magnéticos que fue impartido en la asignatura anterior.

La Tabla II permite hacer una valoración más cualitativa sobre los resultados de la encuesta. En esta se puede apreciar que el 67 % (44 de 66) de los estudiantes que identificaron indicadores tienen en sus respuestas tres o más de los 6 evaluados. Los resultados de la encuesta cobran mayor significación si se tiene en cuenta el hecho de que cada estudiante participó en el EDEI durante un intervalo de tiempo que no excedió los 20

minutos y que no se les comunicó en ningún momento que se les haría una comprobación sobre el experimento realizado.

III. CONCLUSIONES

Las conclusiones del *EDEI* propuesto pueden valorarse en dos dimensiones:

III.1. Sobre la apropiación de las características de la emisión radiactiva estudiada.

Los estudiantes lograron identificar con el *EDEI* algunas de las características fundamentales de la emisión del ^{90}Sr , pues objetivamente pudieron comprobar que:

- En la emisión radiactiva de este isótopo existe una alta proporción de partículas con carga eléctrica negativa.
- No todas las partículas emitidas se mueven con la misma rapidez.
- No existe una dirección preferencial del proceso de emisión.
- Probablemente el proceso de emisión de la fuente sea aleatorio.
- Las partículas emitidas pueden recorrer en el aire una distancia ligeramente superior a los 15 cm.

III.2. Resultados de carácter didáctico.

- El experimento demostrativo así concebido como base para desarrollar el aprendizaje por investigación potenció por un lado el trabajo independiente de los estudiantes y por otro contribuyó al desarrollo del pensamiento abstracto pues el objeto de investigación es totalmente invisible y solamente se pueden emitir conclusiones a partir de los efectos que este produce.
- El *EDEI* permite revelar el vínculo del tema detección de partículas radiactivas con el tema movimiento

de partículas electrizadas en campos magnéticos evidenciando la unidad dialéctica entre dos fenómenos físicos que se estudian en asignaturas diferentes.

- Una vez más se puso en evidencia que cuando la enseñanza de la física se realiza con un buen protagonismo de los estudiantes en general se incrementa la motivación, el interés de estos por la asignatura y se alcanza un aprendizaje más significativo.

REFERENCIAS

- [1] J. J. Llovera, A. M. del Castillo, "Actualización de los Cursos de Física y Matemática. Necesidad Impostergable Desde La Agenda 2030", Ed. Universitaria, La Habana (2020)
- [2] S. Tecpan, J. Benegas, G. Zavala, "Actitudes de Profesores de Física hacia Estrategias de Aprendizaje Activo: Un Caso de Estudio en un Taller de Formación de Formadores", Conf. Paper, October (2012).
- [3] L. M. Sarmiento, N. Budini, S. Giorgi, G. Yoaquino, Rev. Enseñanza Fís. **30**, 211 (2018).
- [4] J. Corbelle Cao, J. M. Domínguez Castiñeiras, Ensen. Cienc. **33**, 137 (2015).
- [5] E. M. Terrado, E. Cascarosa, J. Pozuelo, F. García, Rev. Eurka Ensen. Divulg. Cienc. (REurEDC) **21**, 3203 (2024).
- [6] M. Tsubokura, Y. Kitamura, M. Yoshida, Radiat. Res. **59**, 65 (2018).
- [7] L. Peralta, C. Oliveira, "Radioactivity in the classroom", Sci. Scho. **12**, 57 (2009).
- [8] H. Koike, T. Kawano, T. Limoto, REM **12**, 74 (2023).
- [9] R. Oliveira, Phys. Educ. **55**, 055007 (2020).
- [10] N. Mitchener, Phys. Educ. **55**, 035020 (2020).
- [11] R. Oliveira, L. Baltohoshi, Phys. Educ. **52**, 064001 (2017).
- [12] F. Mbembwa, "Actividad experimental en Física con enfoque problémico en el Instituto Superior de Ciencias de Educación (ISCED), Huambo, Angola", Tesis de doctorado, Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos, Cuba (2020).
- [13] M. Vallés et al., Prácticas de laboratorio de Física III, Ed. ISPJAE, La Habana (1988), pp. 134.