

# זיהוי חלקיק טעון בתא ערפל בעזרת עיבוד תמונה של מסלולו

ד"ר מרק גל, ישיבת בני עקיבא, נתניה

מה חדש  
במעבדה?



## מבוא

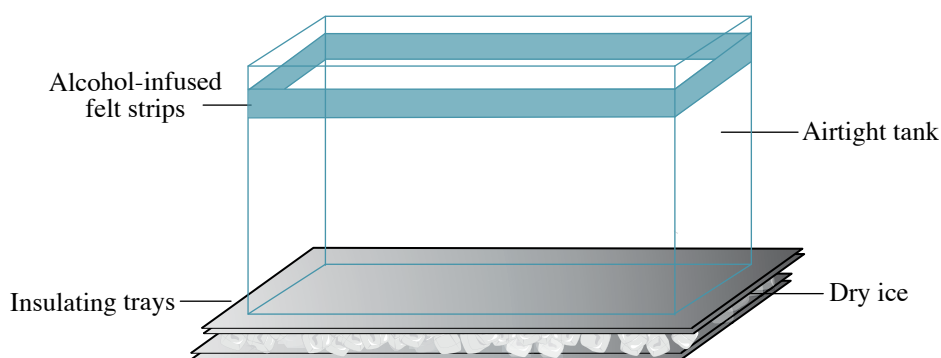
האחרונות יותר ויותר קבוצות של תלמידי מגמת פיזיקה מישראל מבקרים במאיץ החלקיקים הגדול בצרן ולומדים שם פיזיקה של אנרגיות גבוהות. מאמר זה מציג פעילות שאנחנו מבצעים עם תלמידי מגמת הפיזיקה בישיבת בני עקיבא בנתניה כחלק מהכנתם לביקור בצרן: שימוש בתא ערפל לזיהוי חלקיקים ולמדידת תכונות פיזיקליות שלהם.

אמנם תכנית הלימודים בפיזיקה אינה כוללת פיזיקה של חלקיקים אלמנטריים, אבל לצורך זיהוי החלקיקים התלמידים נדרשים לידע על תנועה של חלקיק טעון בשדה חשמלי ו/או שדה מגנטי, נושא שנכלל בתכנית הלימודים.

בפעילות המתוארת במאמר הנוכחי אנחנו מזהים חלקיקים על-ידי ניתוח צילומים של מסלולי חלקיקים טעונים בתא ערפל. צילומים כאלה ניתן למצוא באינטרנט<sup>1</sup> מבנה תא ערפל אנחנו מקווים שהתוצאות המוצגות כאן יהיו לתועלתם של מורים שמלמדים פיזיקה מודרנית.

## מבנה תא ערפל

תא ערפל תוצרת בית מורכב מתיבה העשויה מחומר שקוף המונחת על לוח מתכתי שחור. לחלק הפנימי העליון של התיבה השקופה מחובר בד ספוג באלכוהול<sup>2</sup>. מתחת ללוח השחור שמים קרח יבש על מנת לקרר את קרקעית התא השקוף. דבר זה יגרום להבדל טמפרטורות גדול בין החלק העליון בתא לחלק התחתון. מבנה של תא ערפל ניתן לראות באיור 1.



איור 1: מבנה של תא ערפל ביתי

1 ראו למשל [goo.gl/p2oPWv](http://goo.gl/p2oPWv)

2 משתמשים באלכוהול איזופרופנול בריכוז של 90%. תרכובת כימית זו הנה דליקה, חסרת צבע ובעלת ריח חזק. איזופרופנול משמש בעיקר כנוזל ניקוי בשל יכולתו להמיס שמנים, רעילותו הנמוכה והתנדפותו המהירה.

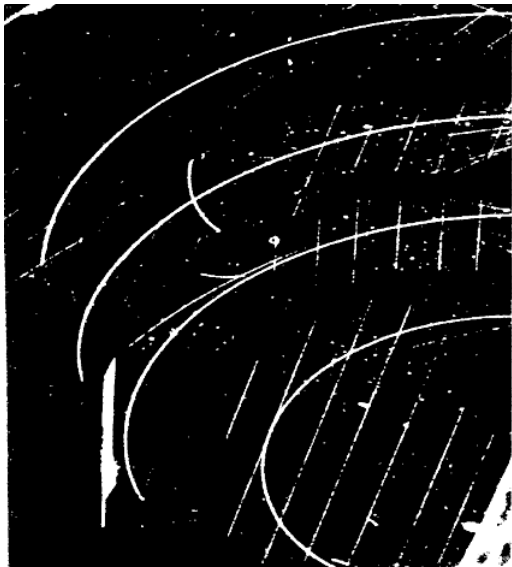
## כיצד פועל תא הערפל?

בתא יש אדים של אלכוהול שיוצאים מהספוג שבחלקו העליון ונמשכים למטה (מכוח הכבידה). אדי האלכוהול מתקררים מהר מאוד, בזמן הקצר יותר מזמן הנפילה שלהם. כתוצאה מכך מגיעים אדי האלכוהול למצב של הויית יתר.

כאשר נכנס לתא חלקיק טעון הוא מיינן את מולקולות האוויר המצויות לאורך המסלול שלו. אדי האלכוהול הרוויים מתעבים סביב היונים הנוצרים ויוצרים טיפות זעירות. כאשר מאירים על טיפות זעירות אלו, הן מפזרות את האור הפוגע בהן, וכך אפשר להבחין בהן. באופן כזה כל חלקיק הנע בתא משאיר בעקבותיו שובל של טיפות זעירות, וכך אפשר להבחין במסלולו. אם נשרה בתא שדה מגנטי, אזי כל חלקיק בעל מטען חשמלי שייכנס לתא יסטה ממסלולו בכיוון מסוים בהתאם לסוג המטען שלו - חיובי או שלילי. מידת הסטייה תיקבע על פי מסת החלקיק.

## ניתוח צילומים של מסלולי חלקיקים בתא ערפל

### תיאור המשימה



איור 2: מסלולי חלקיקים בתא ערפל

אם ידוע שמסלול 1 שייך לפרוטון.

IV התלמידים מקבלים צילום של מסלולים של ארבעה חלקיקים כמתואר באיור 2 (צילומים אלו נערכו בתא ערפל שנמצא במעבדה מקצועית ולא בתא ביתי).

III הצילום מלווה בנתונים הבאים:

II 1. ידוע מראש שמסלול 1 הוא של פרוטון.

2. החלקיקים נכנסים לתא מצד ימין.

I 3. כל החלקיקים נכנסים לתא באותה מהירות (בתא הביתי לא ניתן כמובן לשלוט במהירות הכניסה של החלקיקים).

4. כיוון השדה המגנטי ניצב לתמונה.

5. גודל השדה המגנטי הוא 2.17 טסלה.

6. הקווים הישרים והדקים בתצלום הם חוטי מתכת.

7. המסלולים 2, 3 ו-4 הם של טריטיום, חלקיק אלפא ופי-מזון, אך לא ידוע איזה מסלול קשור לחלקיק קונקרטי.

בהמשך התלמידים מתבקשים לענות על השאלות הבאות:

1. לקבוע את כיוון השדה המגנטי.

2. להסביר מדוע המסלולים של החלקיקים הם קשתיים.

3. להסביר מדוע עקמומיות המסלול משתנה לאורך התנועה.

4. להסביר מדוע עובי המסלול דק יותר בתחילת התנועה ועבה יותר בסופה.

### חישוב רדיוס חלקיק טעון בשדה מגנטי אחיד

בתחילת העבודה מראים לתלמידים שניתן לזהות חלקיק לא ידוע על ידי מדידת רדיוס המסלול שלו והשוואתו לרדיוס המסלול של חלקיק ידוע לפי הפיתוח הבא:

חלקיק טעון שנכנס במאונך לשדה מגנטי אחיד מבצע תנועה מעגלית, ולכן היחס בין מטענו של החלקיק לבין מסתו שווה ל:

$$(1) \quad \frac{q}{m} = \frac{v}{R \cdot B}$$

כאשר  $q$  - מטען החלקיק,  $m$  - מסת החלקיק,  $v$  - מהירות החלקיק,  $R$  - רדיוס המסלול המעגלי של החלקיק,  $B$  - עצמת השדה המגנטי

בהנחה שמהירויות החלקיקים בכניסתם לתא זהה, מנוסחה (1) מקבלים ש:

$$(2) \quad \frac{\frac{q_x}{m_x}}{\frac{q_1}{m_1}} = \frac{R_1}{R_x}$$

כאשר האינדקס 1 מתייחס לחלקיק ידוע, והאינדקס X מתייחס לחלקיק לא ידוע.

מ (2) חאים שאם החלקיקים נכנסים לתא באותה מהירות, הרי שלצורך זיהוי של חלקיק לא ידוע מספיק למדוד רדיוסים ולהיעזר בנתונים שבטבלה 1. חשוב לציין שהרדיוס משתנה לאורך התנועה. ואולם מאחר שבהתחלה, עקב המהירות הגבוהה של החלקיקים, סיכויי ההתנגשות שלהם קטנים יחסית, הרי שבכניסתם של החלקיקים לתא מהירותם נשמרת בקיוב טוב, ואפשר להתייחס למסלול התנועה שלהם בחלק זה כאל מסלול מעגלי.

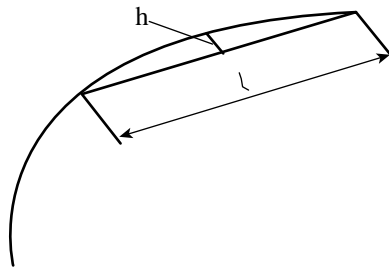
התלמידים מקבלים את הערכים המופיעים בטבלה 1, שחושבו על סמך מדידות ומציגים את היחס מטען למסה  $(q_x/m_x)/(q_1/m_1)$  של ארבעה חלקיקים ביחס לפחטון:

טבלה 1: יחס מטען למסה של חלקיק לא ידוע ליחס מטען למסה של פרוטון

פי-מזון	חלקיק $\alpha$	טריטיום	פוזיטרון	יחס מטען למסה
9	0.5	0.33	1836	$(q_x/m_x)/(q_1/m_1)$

### מדידת רדיוס מסלול

באיור 3 מוצגת שיטה ונוסחה לחישוב רדיוס המסלול של החלקיק בשדה מגנטי:



איור 3: תמונה של קשת מעגלי.  $l$  - אורך המיתר,  $h$  - אורך למיתר מאמצע של הקשת

בעזרת חישוב פשוט (בהנחה שהמסלול הוא מעגלי) אפשר לקבל עבור הרדיוס את הביטוי:

$$(3) \quad \frac{l^2 + 4h^2}{8h}$$

## ביצוע המדידות וזיהוי חלקיק 2

כדוגמה אנחנו מציגים עיבוד של התמונה (איור 2) כדי לזהות את החלקיק 2. בעזרת סרגל מדדנו מיתרים L וגובה h של קשתות 1 ו-2 (צריך להזכיר שמסלול 1 קשור לפחטון). כדאי לסרטט מיתרים ארוכים מספיק כך שדיוק המדידה בעזרת סרגל יהיה גבוה מספיק. תוצאות המדידה מוצגות בטבלה 2.

טבלה 2: מידות גיאומטריות של הקשת

מספר המסלול	אורך המיתר L (ס"מ)	גובה המיתר h (ס"מ)
1(פרוטון)	5.75	1.6
2(חלקיק לא ידוע)	5.75	0.8

בעזרת (3) מקבלים:

$$R_2 = 5.56 \text{ cm} ; R_1 = 3.38 \text{ cm}$$

ומכאן את היחס:  $R_1/R_2 = 0.6$ . לפי (2) וטבלה 1 מוצאים שחלקיק 2 הנו חלקיק אלפא.

באותה שיטה ניתן לזהות גם את החלקיקים 3 ו-4.

## מענה על השאלות

- קביעת כיוון השדה המגנטי: כיוון שעם כניסת החלקיק לאזור, הוא סוטה כלפי מטה, והחלקיק חיובי - אז לפי חוק יד שמאל, השדה המגנטי צריך להיות מאונך למישור הדף במגמה פנימה.
- ההסבר לצורת המסלולים: המסלולים של החלקיקים הם בצורת קשתות, מכיוון שבשדה המגנטי החלקיק הטעון נע בצורה מעגלית.
- ההסבר לשינוי בעקמומיות המסלול: את השינוי בעקמומיות המסלול של החלקיק לאורך התנועה ניתן להסביר בכך שמהירות החלקיק בתא הולכת וקטנה: החלקיק מתנגש עם האטומים שנמצאים בתוך תא הערפל, וכתוצאה מכך מהירותו קטנה, ולכן רדיוס המסלול הולך וקטן.
- ההסבר לכך שעובי המסלול הולך וגדל: ככל שמהירות החלקיק הולכת וקטנה, כך גדלים מספר ההתנגשויות שלו בחלקיקי האוויר ומספר היונים שהוא יוצר לאורך מסלולו. כתוצאה מכך ככל שהחלקיק מאט, נוצרות יותר טיפות של אלכוהול, והמסלול נראה עבה יותר.

## סיכום

בעזרת הצילום של מסלולי החלקיקים הטעונים בתא ערפל, ביצענו זיהוי חלקיק לא ידוע על סמך נתונים של מסלול חלקיק ידוע. במקרה המיוחד הזה מספיק למדוד רק את הרדיוסים של מסלולי החלקיקים. אנחנו מקווים שאפשר יהיה להשתמש בפעילות כמבוא לשיטות זיהוי החלקיקים בפיזיקה גרעינית ובפיזיקה של חלקיקים אלמנטריים. זוהי דוגמה טובה להראות לתלמידים את השימוש בנושאים: תנועה של חלקיק טעון בשדה חשמלי ומגנטי, ציקלוטרון, רדיואקטיביות, ביקוע גרעיני בפיזיקה של חלקיקים אלמנטריים.

A Bluffer's Guide to Bubble Chambers

(An Introduction to Particle Physics and Detector Concepts)

Goronwy Tudor Jones (School of Physics and Astronomy, University of Birmingham)

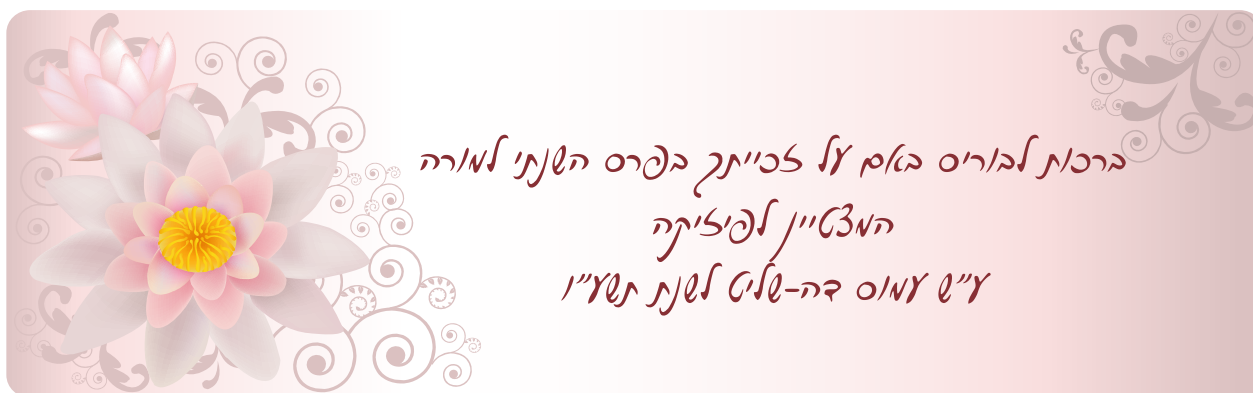
Welsh Teachers Programme at CERN 22-26 February 2015

[https://teachers.web.cern.ch/teachers/archiv/HST2005/bubble chambers/BCwebsite](https://teachers.web.cern.ch/teachers/archiv/HST2005/bubble%20chambers/BCwebsite)

בתא ערפל. צילומים כאלה ניתן למצוא באינטרנט<sup>3</sup>. אנחנו מקווים שהתוצאות המוצגות כאן יהיו לתועלתם של מורים שמלמדים פיזיקה מודרנית.

### מבנה תא ערפל

תא ערפל תוצרת בית מורכב מתיבה העשויה מחומר שקוף המונחת על לוח מתכתי שחור. לחלק הפנימי העליון של התיבה השקופה מחובר בד ספוג באלכוהול<sup>4</sup>. מתחת ללוח השחור שמים קרח יבש על מנת לקרר את קרקעית התא השקוף. דבר זה יגרום להבדל טמפרטורות גדול בין החלק העליון בתא לחלק התחתון. מבנה של תא ערפל ניתן לראות באיור 1.



3 ראו למשל,

[https://www.google.co.il/search?q=Pictures+of+particle+tracks+in+cloud+chamber&rlz=1C1TEUA\\_enIL506IL506&espv=2&biw=1366&bih=662&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKEwif49DBgorRAhWBM1AKHdx1AxYQsAQIHg&dpr=1](https://www.google.co.il/search?q=Pictures+of+particle+tracks+in+cloud+chamber&rlz=1C1TEUA_enIL506IL506&espv=2&biw=1366&bih=662&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKEwif49DBgorRAhWBM1AKHdx1AxYQsAQIHg&dpr=1)

4 משתמשים באלכוהול איזופרופנול בריכוז של 90%. תרכובת כימית זו הנה דליקה, חסרת צבע ובעלת ריח חזק. איזופרופנול משמש בעיקר כנוזל ניקוי בשל יכולתו להמיס שמנים, רעילותו הנמוכה והתנדפותו המהירה.