

פיזיקה 2 ר 114249

פרק 22 - פיזיקה מודרנית

תוכן העניינים

1. תיאוריות מוקדמות של תורת הקוונטים ומבנה האטום..... 1
2. התיאוריה הפוטנית של האור והאפקט הפוטואלקטרי..... 4
3. אנרגיה מסה ותנע של פוטון..... 8
4. דואליות גל חלקיק והאופי הגלי של החומר..... 9
5. סיכום ביניים התורה הפוטונית והשלכות..... (ללא ספר)

תיאוריות מוקדמות של תורת הקוונטים ומבנה האטום:

סיכום כללי:

ההנחה הקוונטית של פלאנק וקרינת גוף שחור.

		<p>גרף של קרינת גוף שחור כתלות באורך הגל ובטמפרטורות שונות</p>
λ_p - אורך הגל בשיא T - הטמפרטורה בקלווין	$\lambda_p T = 2.90 \cdot 10^{-3} m \cdot K$	<p>חוק ווין - Wien law</p>
קבוע בולצמן $k = 1.38 \cdot 10^{-23} J \cdot K^{-1}$ קבוע פלאנק $h = 6.626 \cdot 10^{-34} J \cdot s$	$I(\lambda, T) = \frac{2\pi hc^2 \lambda^{-5}}{e^{hc/\lambda kT} - 1}$	<p>נוסחת פלאנק לקרינת גוף שחור</p>
<u>ההנחה הקוונטית של פלאנק</u>	$E_{min} = hf$	<p>אנרגיה מינימלית של מטען בתנועה הרמונית באטום</p>
המספר הקוונטי $n = 1, 2, 3, \dots$	$E = nhf$	<p>אנרגיית המטען חייבת להיות כפולה שלמה של הערך המינימלי</p>

שאלות:

- (1) **דוגמה - טמפרטורת השמש**
 הראו באמצעות חוק ווין כי הטמפרטורה על פני השמש היא באמת 6,000K אם ידוע שאורך הגל של האור הנראה הוא בערך 500nm.
- (2) **דוגמה - טמפרטורת כוכב**
 טלסקופ גדול בחלל מזהה כוכב חדש. הקרינה שפולט הכוכב נקלטת בטלסקופ כאשר השיא של הקרינה הוא באורך גל של 90nm. מהי הטמפרטורה על פני הכוכב?
- (3) **טמפרטורה של מתכת**
 מה הטמפרטורה של מתכת בשלב הריתוך אם שיא פליטת האור שלה באורך גל של 460nm.
- (4) **הפרש אנרגיות של מולקולה רוטטת**
 מולקולת HCl רוטטת בתדירות של $8.1 \cdot 10^{13}$ Hz. חשבו את ההפרש בין שני ערכים צמודים של האנרגיות האפשריות לפי ההנחה הקוונטית של פלאנק לערכי האנרגיה באוסילציות. תנו תשובה בג'אול ובאלקטרון וולט.
- (5) **חוק ווין וקבוע פלאנק מנוסחת הקרינה**

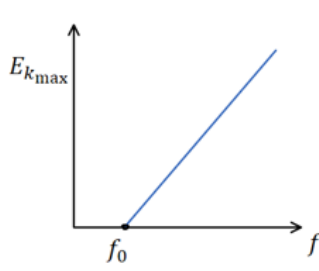
$$I(\lambda, T) = \frac{2\pi hc^2 \lambda^{-5}}{e^{hc/\lambda kT} - 1}$$
 נוסחת פלאנק לקרינת גוף שחור היא:
 א. * הראו, ללא שימוש בחוק ווין, כי קבוע $\lambda_p T =$ לעזרתכם פתרון המשוואה: $5e^{-x} = 5 - x$: $x = 4.966$.
 ב. השתמשו בחוק ווין וחשבו את קבוע פלאנק.
 ג. ** הראו כי הקרינה הנפלטת מגוף שחור פרופורציונית לטמפרטורה ברביעית - חוק סטפן - בולצמן.
 הדרכה: בשביל לחשב את הקרינה הכוללת הנפלטת יש לעשות אינטגרציה על כל אורכי הגל, אין צורך לפתור את האינטגרל עד הסוף.

תשובות סופיות:

- (1) הוכחה.
- (2) .32,000K
- (3) .6,300K
- (4) $.5.4 \cdot 10^{-20} \text{ J}$, 0.34eU
- (5) הוכחה.

התיאוריה הפוטונית של האור והאפקט הפוטואלקטרי:

סיכום כללי:

f - תדירות האור	$E = hf$	אנרגיה של פוטון יחיד
		<u>הניסוי הפוטואלקטרי</u>
W_0 - פונקציית העבודה של המתכת	$hf_0 = W_0$	תדירות סף
	$E_k = hf - W_0$	אנרגיה קינטית מקסימאלית של האלקטרונים
	$eV_0 = E_k$	מתח עצירה
<u>לפי התורה הגלית-אלקטרומגנטית</u> 1. עוצמת האור קשורה לגודל השדה הגדלת העוצמה תגדיל את האנרגיה הקינטית של האלקטרונים. 2. התדירות לא משפיעה על האנרגיה של האלקטרונים.	<u>לפי התורה הפוטונית</u> 1. עוצמת האור קשורה למספר הפוטונים ולא לאנרגיה של כל אחד מהם. הגדלת העוצמה תגדיל את מספר האלק' הנפלטים אבל לא את האנרגיה הקינטית שלהם. 2. האנרגיה של הפוטון תלויה בתדירות. 3. רק פוטון אחד נותן את כל האנרגיה שלו ולכן קיימת תדירות סף.	השוואה לתורה הגלית

שאלות:

- (1) **דוגמה - חישוב אנרגיית פוטון באור כחול**
 חשבו את האנרגיה של פוטון באור כחול: $\lambda = 450\text{nm}$ באוויר (או וואקום).
- (2) **דוגמה - הערכה של מספר פוטונים מנורה**
 נסו להעריך כמה פוטונים פולטת נורה בהספק 100W כל שניה. הניחו שהנצילות של הנורה היא בערך 3% (כלומר רק 3% מהאנרגיה המושקעת בנורה כל שניה מנוצלת להפקה של אור). האור שיוצא מנורה לבנה הוא בכל אורכי הגל, ניתן לקחת לצורך ההערכה את אורך הגל באמצע הספקטרום של האור הנראה: $\lambda \approx 500\text{nm}$.
- (3) **דוגמה - חישוב אנרגיה של אלקטרונים נפלטים**
 מהי האנרגיה הקינטית המקסימאלית ומהי המהירות המקסימאלית של אלקטרונים הנפלטים מחומר שפונקציית העבודה שלו היא: $W_0 = 2.8\text{eV}$ אם אורך הגל של האור הפוגע במשטח הוא:
 א. $\lambda = 400\text{nm}$
 ב. $\lambda = 600\text{nm}$
- (4) **עקיפה של קרינת גמא**
 לפוטון בקרינת גמא יש אנרגיה של 380 keV.
 א. מהו אורך הגל של הקרינה?
 ב. האם לדעתך הקרינה עושה עקיפה דרך פתחים טיפוסיים שאנחנו נתקלים ביום יום כמו פתח של דלת?
- (5) **איזו מתכת לא תפלוט אלקטרונים**
 פונקציות העבודה של סודיום, צסיום, נחושת וברזל הן: 2.1, 2.3, 4.7 ו-4.5 אלקטרון וולט בהתאמה. אלו מהמתכות לא תפלוט אלקטרונים כאשר פוגע בה אור מהתחום הנראה?
- (6) **פונקציית עבודה ומתח עצירה**
 בניסוי של האפקט הפוטואלקטרי נצפה כי לא זורם זרם כאשר אורך גל של האור הוא מעל ל-540nm.
 א. מהי פונקציית העבודה של המתכת?
 ב. מהו מתח העצירה הדרושה אם מקרינים באור באורך גל של 450nm?

7 ניסוי פוטואלקטרי

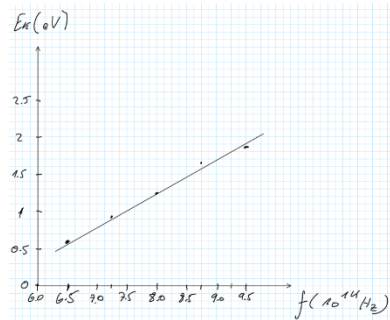
בניסוי פוטואלקטרי הקרינו אור בתדירויות שונות ומדדו את מתח העצירה. התוצאות של הניסוי מוצגות בטבלה הבאה:

$f(10^{14}\text{Hz})$	$V(\text{V})$
6.50	0.6
7.25	0.91
8.00	1.23
8.75	1.54
9.50	1.85

- א. מצאו את האנרגיה הקינטית של האלקטרונים בפליטה ושרטטו גרף של אנרגיה זו כתלות בתדירות. השתמשו בנייר משבצות ורשמו נתונים בצורה מדויקת.
- ב. חשבו מתוך הגרף את קבוע פלאנק.
- ג. חשבו את פונקציית העבודה ותדירות הסף של המתכת.

תשובות סופיות:

- (1) 2.8eV
- (2) $8 \cdot 10^{18}$ פוטונים.
- (3) א. $3.2 \cdot 10^2 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ ב. לא תהיה פליטה של אלקטרונים.
- (4) א. $3.3 \cdot 10^{-3} \text{nm}$ ב. לא.
- (5) נחשת וברזל.
- (6) א. 2.3eV ב. 0.46V
- (7) א.
- ב. הוכחה.



$E_k = \text{eV}$
0.6eV
0.91eV
1.23eV
1.54eV
1.85eV

ג. $W_0 = 2.42\text{eV}$, $f = 5.84 \cdot 10^{14} \text{Hz}$

אנרגיה מסה ותנע של פוטון:

סיכום כללי:

אנרגיה של פוטון יחיד	$E = hf$	f -תדירות האור
תנע של פוטון	$p = \frac{E}{c} = h \frac{f}{c} = \frac{h}{\lambda}$	
מסת מנוחה של פוטון	$m = 0$	

שאלות:

- (1) דוגמה - כוח שמפעילה נורה על נייר שחור
 בדוגמה "הערכה של מספר הפוטונים מנורה" חישבנו את מספר הפוטונים שיוצאים מנורה של 100W כל שניה (בערך 10^{19}). נניח כי כל הפוטונים האלו פוגעים בנייר שחור (ולא מוחזרים) חשבו את:
 א. התנע של פוטון יחיד.
 ב. הכוח שמפועל על הנייר.

- (2) דוגמה - יעילות של תהליך פוטוסינתזי
 בתהליך פוטוסינתזי פיגמנטים בצמח כמו כלורופיל סופגים אור שמש ובאמצעותו הופכים פחמן דו חמצני (CO_2) לפחמימות (וחמצן שנפלט).
 בשביל להפוך מולקולה אחת של CO_2 לפחממה הצמח משתמש ב-9 פוטונים. כלורופיל סופג אור בעיקר באורך גל של 670nm. אם ידוע שהאנרגיה המשתחררת בפירוק פחממה היא: $4.9 \frac{eV}{molecule}$, מה היעילות (או נצילות) של התהליך הפוטוסינתזי?

תשובות סופיות:

- (1) א. $1.3 \cdot 10^{-27} \frac{kg \cdot m}{sec}$ ב. $10^{-8} N$
 (2) 29%

דואליות גל חלקיק והאופי הגלי של החומר:

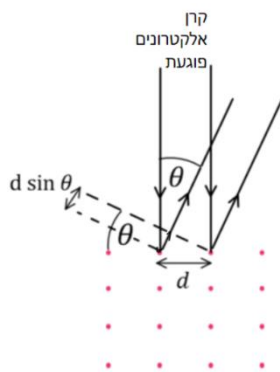
סיכום כללי:

$p = mv$ או $p = mv\gamma$	לא יחסותי או יחסותי	$\lambda = \frac{h}{p}$	אורך גל דה ברולי של חלקיק
----------------------------------	---------------------------	-------------------------	------------------------------

שאלות:

(1) **דוגמה - אורך גל של כדורסל**
 חשבו את אורך גל דה ברולי של כדורסל השוקל חצי קילוגרם ונזרק במהירות של 10 מטר לשנייה.

(2) **דוגמה - אורך גל של אלקטרון ב-100 וולט**
 חשבו את אורך הגל של אלקטרון המואץ תחת הפרש פוטנציאלים של 100V.



(3) **דוגמה - עקיפה של אלקטרונים**
 מקרינים קרן אלקטרונים בניצב למשטח של חומר מוצק. האטומים בחומר מסודרים בצורת סריג ריבועי כאשר המרווח בין האטומים לא ידוע ומסומן ב- d , ראו איור. מצאו את המרחק d אם האנרגיה הקינטית של האלקטרונים היא: $E_k = 80\text{eV}$ והזווית בה מתרחשת התאבכות בונה בפעם הראשונה היא 22° .
 הניחו שהאנרגיה של האלקטרונים נמוכה וכי האלקטרונים עושים אינטראקציה רק עם השכבה החיצונית של החומר.

(4) **כמה מתח לאורך גל**
 באיזה מתח צריך להאיץ אלקטרון כך שהוא יגיע לאורך גל של 0.6nm.

(5) **אנרגיה ותנע מאורך גל**
 לאלקטרון אורך גל דה ברולי של: $\lambda = 3.2 \cdot 10^{-10}\text{m}$.
 א. מהו התנע שלו?
 ב. מהי מהירותו? האם היא יחסותית? רמת דיוק של 1% בגאומה.
 ג. איזה מתח נדרש כדי להאיץ אותו למהירות כזו?

(6) רזולוציה של מיקרוסקופ אלקטרוני

מהו הגבול התיאורטי של הרזולוציה של מיקרוסקופ אלקטרוני שבו האלקטרונים מואצים במתח של 80keV . יש להשתמש בנוסחאות יחסיות.

(7) אנרגיה יחסית

אלקטרון בשפופרת טלויזיה (של פעם) מואץ במתח של 33keV .

א. האם האנרגיה של האלקטרון יחסית? לפי רמת דיוק של אחוז אחד בגמא.

ב. חשבו את אורך הגל של האלקטרון. האם צריך לדאוג מתופעות עקיפה?

גודל פתח השפופרת הוא 5cm .

תשובות סופיות:

(1) $1.3 \cdot 10^{-34}\text{ m}$

(2) $1.2 \cdot 10^{-10}\text{ m}$

(3) 3 A

(4) 4.17 V

(5) א. $2.1 \cdot 10^{-24}\text{ kg} \cdot \text{sec}$. ב. $2.3 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$, לא יחסית. ג. 15 V .

(6) $4.2 \cdot 10^{-12}\text{ m}$

(7) א. כן. ב. $6.6 \cdot 10^{-12}\text{ m}$, אין צורך.