

תכנית הלימודים בפיזיקה לחטיבה העליונה

תכנית הלימודים המותאמת ל"למידה משמעותית"

**משרד החינוך
המזכירות הפדגוגית
אגף המדעים
הפיקוח על הוראת הפיזיקה**

הקדמה

המסמך להלן מכיל את תכנית הלימודים שנכנסה לתוקפה החל משנת תשע"ה. למסמך 2 חלקים : חלק א : מסמך מקוצר המכיל את ההסבר למבנה "תכנית הלימודים המותאמת ללמידה משמעותית" החל משנת תשע"ה. המסמך מכיל את חלוקת הנושאים לבחינות השונות וטבלאות המבוססות על תכנית הלימודים שבחלק ב'. חלק ב : תכנית הלימודים המלאה "תכנית הלימודים בפיזיקה לחטיבה העליונה, רמה מוגברת". התכנית המלאה כוללת, בנוסף לנושאי הלימוד, הנוסחאות, הפעילויות ושעות הלימוד המומלצות גם דגשים והערות דידקטיות, בעיות ותרגילים לדוגמה ונושאים להרחבה והעמקה.

הערכה חיצונית והערכה בית ספרית

נושא	ש"ש	אחוזים
מכניקה	6	40
אלקטרומגנטיות	4.5	30
סה"כ	10.5	70

נושאי החובה "מכניקה", "אלקטרומגנטיות" ו"מעבדה" מהווים 70% מתכנית הלימודים. על נושאים אלה התלמידים ייבחנו בבחינה חיצונית. בטבלה לעיל מפורטות השעות השבועיות שיש להקדיש לכל נושא כאשר שעות המעבדה הן חלק משעות הלימוד. פירוט כל אחד מהנושאים מופיע בטבלאות להלן. יש לשים לב שהפרקים "אופטיקה" ו"גלים מכניים" שהיו עד תשע"ה חלק משאלון המכניקה (בהיקף 0.5 יח"ל) הועברו לנושאי הבחירה והערכתם תהיה בית ספרית. הנושא "קרינה וחומר", המהווה 30% מכלל תכנית הלימודים, מומלץ כנושא להערכה פנימית. היקף הוראתו יהיה 4.5 ש"ש. בנושא זה יכללו הפרקים "אופטיקה" ו"גלים מכניים", שיילמדו בצורה מצומצמת יותר, כמו שאר הפרקים בחלק זה. למסמך זה מוצרפת תכנית הלימודים המלאה "תכנית הלימודים בפיזיקה לחטיבה העליונה, רמה מוגברת". תכנית זו כוללת, בנוסף לנושאי הלימוד, הנוסחאות, הפעילויות ושעות הלימוד המומלצות גם דגשים והערות דידקטיות, בעיות ותרגילים לדוגמה ונושאים להרחבה והעמקה.

פירוט הנושאים

חלק מנושאי הלימוד בטבלאות מופיעים ללא צבע וחלקם מופיע עם רקע צבעוני. להלן מקרא למשמעות כל צבע :

ללא צבע – החלק שיהווה את בסיס הידע והמיומנויות (70%).

ירוק – החלק שיהווה את הבחירה וההעמקה (30%).

רוד – חלקים שצומצמו במסגרת ההלימה לשעות ההוראה, ולא נדרש ללמדם,

צהוב – חלקים שעברו שינויים והתאמות ויש ללמדם באופן מצומצם יותר.

מכניקה

פרק	שעות
קינמטיקה	25
דינמיקה	55
התנע ושימורו	20
אנרגיה מכנית ושימורה	30
מודל הגז האידאלי	10
תנועה הרמונית פשוטה	10
כבידה	20
סה"כ	160

אלקטרומגנטיות

פרק	שעות
חוק קולון והשדה האלקטרוסטטי	20
פוטנציאל חשמלי, קיבול וקבלים	20
מעגלי זרם ישר	35
השדה המגנטי	25
השראה אלקטרומגנטית	20
סה"כ	120

קרינה וחומר

פרק	שעות
תופעות יסודיות של האור, ייצוג מהלך האור באמצעות קרניים	25
המושג "מודל", תפקידיו, המודל החלקיקי של האור	5
גלים מכניים ואלקטרומגנטיים	35
מבוא לתורת הקוונטים - המודל הדואלי של האור	15
מבנה האטום	20
מבוא לתורת הקוונטים - דואליות החומר	5
הגרעין ומבוא לחלקיקים יסודיים	15
סה"כ	120

פירוט פרקי הלימוד

נושא: מכניקה

פרק 1 : קינמטיקה

נושא	פירוט	נוסחאות	פעילויות מומלצות
1.1 מושגי יסוד בתנועה לאורך קו ישר	- מושגי היסוד "אורך" ו"זמן": מדידתם ויחידותיהם, מערכת היחידות התקנית SI. - המושגים: "ציר מקום", "מערכת ייחוס", "מקום יחסי", "מרחק", "העתק", "דרך".	$\vec{x}_{A,B} = \vec{x}_A - \vec{x}_B \quad \Delta \vec{x} = \vec{x}_2 - \vec{x}_1$	
1.2 תיאור תנועה - מקום כפונקציה של הזמן	- תיאור מקומו של גוף כפונקציה של הזמן על-ידי ההצגות: טבלה, גרף, ביטוי מתמטי. - יתרונות וחסרונות של ההצגות השונות. - תרשים תנועה ("תרשים עקבות").		- ניסוי: דגימת מקום וזמן של גוף נע בתנועה כלשהי על-ידי רשם-זמן.
1.3 תנועה קצובה לאורך קו ישר	- תנועה קצובה; המהירות בתנועה קצובה. - תיאור המקום כפונקציה של הזמן (ובקיצור: פונקציית מקום-זמן) על-ידי ביטוי אלגברי ועל-ידי גרף. - המהירות כשיפוע הגרף. - תנועה קצובה למקוטעין. - מהירות ממוצעת.	$\vec{v} = \frac{\Delta \vec{x}}{\Delta t}$ $\vec{x} = \vec{x}_0 + \vec{v}t$	- בניית טבלת מקום-זמן וסרטוט גרף מקום-זמן על פי "תרשים עקבות" של גוף שנע בתנועה קצובה.
1.4 תנועה יחסית	- יחסיות התנועה. - מהירות יחסית.	$\vec{v}_{A,B} = \vec{v}_{A,S} - \vec{v}_{B,S}$	- הדמיה: חקירת מהירות ביחס למערכות ייחוס שונות כפונקציה של הזמן.
1.5 תנועה במהירות משתנה	- המושגים: "מהירות ממוצעת", "מהירות רגעית". - מהירות ממוצעת כשיפוע מיתר בגרף מקום-זמן. - מהירות רגעית כשיפוע משיק בגרף מקום-זמן.	$\vec{v} = \frac{\Delta \vec{x}}{\Delta t}$ $\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{x}}{\Delta t}$	- גיליון אלקטרוני: חישוב מהירות רגעית ממשוואת מקום-זמן. הערכת מהירויות רגעיות מטבלת מקום-זמן.
1.6 תנועה בתאוצה קבועה	- תנועה בתאוצה קבועה. - הצגת המקום והמהירות כפונקציה של הזמן ע"י ביטויים אלגבריים וע"י	$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t$	- ניסוי: דגימת מקום וזמן של גוף הנופל חופשית ע"י

רשם-זמן או מד-טווח.	$x = x_0 + \frac{v_0 + v}{2} t \quad x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$ $v^2 = v_0^2 + 2a(x - x_0)$	גרפים. - נפילה חופשית, זריקה אנכית.	
- גיליון אלקטרוני : חישוב תאוצות רגעיות על פי טבלת מקום- זמן.	$\bar{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$ $\bar{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$	- המושגים : "תאוצה ממוצעת", "תאוצה רגעית". - תאוצה ממוצעת כשיפוע מיתר בגרף מהירות-זמן. - תאוצה רגעית כשיפוע משיק בגרף מהירות-זמן.	1.7 תנועה בתאוצה משתנה
		- המושגים : "מקום" ו"העתק" בתנועה במישור. - אפיון הווקטור באמצעות גודל וכיוון, חיבור וקטורים בדרך גאומטרית, שוויון וקטורים, וקטור האפס, וקטור נגדי, וקטור שקול, חיסור וקטורים בדרך גאומטרית. - רכיבים של וקטור, חיבור וקטורים בדרך אלגברית, כפל וקטור בסקלר.	1.8, 1.9 מושגי יסוד בתנועה במישור, וקטורים
- הערכת כיוון התאוצה על פי וקטורי המהירות.	$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$ $\bar{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$	- המושגים : "מהירות כווקטור", "תאוצה כווקטור". - כיוון התאוצה בתנועה קצובה על מסלול עקום. - רכיבי תאוצה : רכיב משיקי ורכיב ניצב למשיק (רדיאלי).	1.10 המהירות והתאוצה בתנועה במישור

פרק 2 : דינמיקה

נושא	פירוט	נוסחאות	פעילויות מומלצות
2.1 כוחות ומדידתם	- המושג "כוח", כוח הכובד. - תכונת האלסטיות ותכונת הלינאריות של קפיץ. - דינמומטר. - הגדרה ראשונית של יחידת הכוח "ניוטון". - מאזני קפיץ ; הגדרה ראשונית למושג "משקל" ככוח הכובד.	$\vec{F} = k \Delta \vec{l}$	- ניסוי : חוק הוק.
2.2 תכונות של כוחות	- הכוח כווקטור. - המושג "כוח שקול". - חיבור כוחות (באופן גאומטרי ובאופן אלגברי). - החוק השלישי של ניוטון.	$\vec{F}_{1,2} = -\vec{F}_{2,1}$	- הדגמה : כוחות מתחברים על פי כלל חיבור ההעתקים. - הדגמה : כל פעולת כוח היא צד אחד של אינטראקציה. - ניסויים : החוק השלישי של ניוטון באופן כמותי. - דוגמאות : (1) כוחות הידרוסטטיים. (2) כוחות מגנטיים.

2.3 התמדה	- התמדה. - תנאי להתמדה ($\sum \vec{F} = 0$). - התמדה בציר מסוים.	- הדגמה: תנועת גוף על מסלול עם חיכוך קטן. - הדגמה: היחלצות ממסילה עקומה. - הדגמה: עגלת התמדה. - סרטון: חוק ההתמדה/היקום המכני.
2.4 מתיחות, כוח נורמלי וכוח חיכוך	- מתיחות בחתך רוחב ומתיחות של חוט. - כוח נורמלי; מודל קפיצים. - אדהזיה; חיכוך קינטי; חיכוך סטטי.	$f_k = \mu_k N$ $f_s \leq \mu_s N$ - ניסוי: דינמומטר אופקי קשור לשתי משקולות בחוטים הכרוכים סביב שתי גלגילות. - הדגמה: התעקמות משטח שולחן בעת העמסתו.
2.5 ניתוח מצבי התמדה פשוטים	- דוגמאות: - גוף נגרר במהירות קבועה על משטח אופקי באמצעות כוח אופקי ובאמצעות כוח נטוי.	- הדגמות שונות של מערכות הכוללות חוטים, משקולות ודינמומטרים.
2.6 החוק השני של ניוטון	- הקשר בין כיוון הכוח השקול לבין כיוון התאוצה בתנועה בקו ישר ובמישור. - הקשר בין גודל הכוח השקול לבין גודל התאוצה בתנועה לאורך קו ישר ובמישור ($a \propto \sum \vec{F}$). - המסה של גוף כמדד להתמדתו (מסה התמדית) - $m = \frac{\sum F}{a}$ - הקילוגרם - יחידת המסה ב-SI. - ניסוח החוק השני של ניוטון. - משוואת תנועה.	$\sum \vec{F} = m\vec{a}$ - דף עבודה: מציאת הקשר בין כיוון הכוח השקול וכיוון התאוצה (בתנועה חד-ממדית ובתנועה דו-ממדית). - ניסוי: תלות התאוצה a ב-$\sum \vec{F}$ בתנועה חד-ממדית. - ניסוי: מדידת היחס $\frac{\sum \vec{F}}{a}$ לגבי גופים שונים בתנועה חד-ממדית. - ניסוי: תלות התאוצה a ב-$\sum \vec{F}$ בתנועה דו-ממדית.
2.7 כוח הכובד, והמסה כמדד לעצמתו	- המסה של גוף כמדד לעצמת כוח הכובד הפועל עליו (מסה כובדית). - מדידת מסה באמצעות מאזני כפות. - צפיפות ומשקל סגולי.	- הדגמה: "מסה אינרציאלית" ו"מסה כובדית" הן גדלים פרופורציוניים.
2.8 יישום החוק השני לגבי תנועה לאורך קו ישר	- דוגמאות: - תנועה על משטח אופקי ועל משטח משופע בהזנחת החיכוך וללא הזנחתו. - תנועת מעלית. - הוראת מאזני קפיץ הנמצאים בתוך מעלית כאשר היא נעה במהירות קבועה, כאשר היא מואצת וכאשר היא נופלת חופשית. - כוחות חיכוך הפועלים על מכונית בהאצה ובבלימה; האצת גוף באמצעות כוח חיכוך. - מד-תאוצה - גוף קשור בחוט לתקרת מכונית מואצת. - האצת שני גופים הקשורים בחוט. - המושגים "דטרמיניזם" ו"יכולת ניבוי".	- ניסויים: מציאת מקדם החיכוך, יישום החוק השני של ניוטון במערכות דו-גופיות. - גיליון אלקטרוני: פתרון נומרי של משוואת תנועה.
2.9 תנועה במישור בהשפעת כוח קבוע	- זריקה אופקית: הרכיבים האופקיים והאנכיים של המקום, המהירות והתאוצה; התנועה הדו-ממדית. - זריקה משופעת. - הכללה לתנועה בהשפעת כוח קבוע.	- ניתוח תרשים-עקבות של גוף שנזרק. - ניתוח סרטון וידאו של גוף הנזרק באוויר.

2.10 תנועה מעגלית	- התאוצה והכוח בתנועה קצובה במעגל. - תנועה קצובה במעגל כתנועה מחזורית : זמן-מחזור, תדירות. - מהירות זוויתית בתנועה קצובה במעגל. - דוגמאות לתנועה קצובה במעגל : 1. מטוטלת קונית. 2. תנועה על כביש מעגלי, אופקי ונטוי. - התאוצה והכוח בתנועה מעגלית שאינה קצובה. - מהירות זוויתית רגעית. - דוגמה לתנועה מעגלית שאינה קצובה : מטוטלת פשוטה.	$a_r = \frac{v^2}{R}$ $\Sigma F = m \frac{v^2}{R}$ $\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$ $\omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$	- דף עבודה : תלות התאוצה הרדיאלית במהירות התנועה וברדיוס המסלול המעגלי.
2.11 מערכות ייחוס	- המושג "גוף חופשי". - החוק הראשון של ניוטון. - כדור הארץ כמערכת ייחוס אינרציאלית בקירוב. - מטוטלת פוקו (איכותל). - עקרון היחסות של גלילאו. - נוסחאות הטרנספורמציה של גלילאו עבור התאוצה (תנועה לאורך קו ישר). - עקרון האקוויולנציה ושימוש בו לניתוח תנועה ביחס למערכות מואצות. - המושגים : "משקל", "כיוון מטה", "כיוון אופקי".	$\vec{v}_{A,B} = \vec{v}_{A,S} - \vec{v}_{B,S}$ $\vec{a}_{A,B} = \vec{a}_{A,S} - \vec{a}_{B,S}$ $w = mg'$	

פרק 3 : התנע ושימורו

נושא	פירוט	נוסחאות	פעילויות מומלצות
3.1 מתקף, תנע והקשר ביניהם	- המושג "מתקף" של כוח קבוע וייצוגו באמצעות ביטוי מתמטי. - מתקף של כוח משתנה בגודלו, וייצוגו באמצעות ה"שטח" הנתחם ע"י עקומת כוח-זמן וציר הזמן. - המתקף הכולל הפועל על גוף. - המושג "תנע" וייצוגו באמצעות ביטוי מתמטי. - המתקף הכולל הפועל על גוף כשינוי התנע של הגוף. - הכוח כקצב שינוי התנע.	$\vec{J} = \vec{F}\Delta t$ $\vec{J} = \Sigma \vec{F}dt$ $\vec{p} = m\vec{v}$ $\vec{J} = \Delta\vec{p}$ $\Sigma \vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$	- ניסוי : הקשר בין המתקף הכולל הפועל על גוף, לשינוי התנע של הגוף (באמצעות חיישן-כוח ושער-אור).
3.2 חוק שימור התנע	- המושג "מערכת סגורה". - שימור תנע במערכת דו-גופית סגורה. - חוק שימור התנע.	$m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2$ $\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \dots$ $\vec{P} = \text{Const.}$	- ניסויים : בחינת שימור תנע כאשר המהירויות נמדדות באופן ישיר (מד-טווח או צילום וידאו) ; בממד אחד ובשני ממדים.
3.3 יישומים של חוק שימור התנע	- התנגשויות. - רתע. - שימור תנע במהלך אינטראקציה. - הנעה רקטית (איכותל).		- ניסויים : שימור תנע בתופעות התנגשות, רתע, ובמהלך אינטראקציה.

פרק 4 : אנרגיה מכנית ושימורה

נושא	פירוט	נוסחאות	פעילויות מומלצות
4.1 אנרגיה קינטית, עבודה והקשר ביניהן	- המושג "אנרגיה קינטית". - עבודה הנעשית על גוף נקודתי : (1) כאשר המסלול הוא קו ישר והכוח קבוע - ייצוג העבודה באמצעות נוסחה. (2) כאשר המסלול הוא קו ישר והכוח משתנה - ייצוג העבודה כ"שטח" המתאים. (3) כאשר המסלול הוא קו עקום והכוח משתנה - ייצוג רעיון החישוב באמצעות חלוקה להעתקים קטנים. תחושב במפורט עבודת הכוח השקול בתנועה מעגלית קצובה. - "משפט עבודה-אנרגיה" - הוכחה עבור מקרים (1) ו-(2) לעיל והרחבה (ללא הוכחה) למקרה (3).	$E_k = \frac{1}{2}mv^2$ $W = \vec{F} \cdot \Delta \vec{x}$ $W = \int_{x_1}^{x_2} F_x \cdot dx$ $W_{\text{כוללת}} = \Delta E_k$	- ניסויים : נפילה חופשית או מישור משופע - חישוב עבודת כוח הכובד ותוספת האנרגיה הקינטית.
4.2 אנרגיה פוטנציאלית	- כוחות משמרים וכוחות שאינם משמרים. - אנרגיה פוטנציאלית כובדית. - אנרגיה פוטנציאלית אלסטית.	$U_G = mgy$ $U_{sp} = \frac{1}{2}kx^2$	- ניסויים : מסה המתנדנדת על קפיץ - חישוב אנרגיה פוטנציאלית אלסטית ואנרגיה קינטית.
4.3 שימור אנרגיה מכנית	- אנרגיה מכנית כוללת. - שימור האנרגיה המכנית.	$W_{A \rightarrow B} = E_B - E_A$ $E_A = E_B$	- ניסויים : חישוב עבודת כוח החיכוך על מסה הקשורה בקפיץ ומואצת אופקית.
4.4 תנועה במעגל אנכי	- שיקולי כוחות ואנרגיה. - הינתקות מן המסלול המעגלי.		- ניתוח תנועה מעגלית באמצעות סרטון וידאו או הדמיית מחשב.
4.5 היבטים אנרגטיים בהתנגשויות	- המרות אנרגיה בהתנגשויות פלסטיות ; אנרגיה פנימית. - התנגשויות אלסטיות ; המהירות היחסית בהתנגשויות אלסטיות.	$\vec{v}_1 - \vec{v}_2 = -(\vec{u}_1 - \vec{u}_2)$	- ניסויים : - אי-שימור אנרגיה בהתנגשויות פלסטיות. - שימור אנרגיה בהתנגשויות אלסטיות.
4.6 הספק ונצילות	- המושגים "הספק" ו"נצילות".	$P = \frac{\Delta W}{\Delta t}$	

פרק 5 : מודל הגז האידאלי

נושא	פירוט	נוסחאות	פעילויות מומלצות
5.1 תכונות מקרוסקופיות של גזים	- המושגים "לחץ" ו"טמפרטורה". - תיאור התנהגות גז תחת שינויי נפח, לחץ וטמפרטורה. - המושג "האפס המוחלט". - המושגים "גז אידאלי" ו"גז ראלי".	$p = \frac{F}{A}$ $\frac{pV}{T + 273.16} = \text{Const.}$ $\frac{pV}{T} = \text{Const.}$	
5.2 הסבר התנהגות גז	- הנחות המודל הקינטי. - פיתוח ביטוי מתמטי ללחץ שמפעיל		- הדמיות מחשב של המודל

הקינטי.	$\bar{E}_k = \frac{3}{2} kT$ $pV = NkT$	$\left(p = \frac{1}{3} \frac{Nm\bar{v}^2}{V} \right)$ גז אידאלי - טמפרטורה של גז כמדד לאנרגיה הקינטית הממוצעת של מולקולות הגז. - הקבוע של בולצמן. - משוואת המצב של הגז האידאלי.	אידאלי באמצעות המודל הקינטי
	$\Delta E = Q + W$	- המושגים "אנרגיה תרמית", "אנרגיה פנימית" ו"חום". - החוק הראשון של התרמודינמיקה. - החוק השני של התרמודינמיקה.	5.3 החוק הראשון והחוק השני של התרמודינמיקה

פרק 6 : תנועה הרמונית פשוטה

נושא	פירוט	נוסחאות	פעילויות מומלצות
6.1 תנועה מחזורית, תנודות, תנודות הרמוניות	- תנועה מחזורית ואפיונה על-ידי זמן מחזור, תדירות ותדירות זוויתית. - תנודות (תת-משפחה של תנועות מחזוריות). - תנודות הרמוניות: התבנית המתמטית של הכוח כפונקציה של המקום.	תנועה מחזורית: $p(t) = p(t + T) \text{ לכל } t.$ כאשר: $p(t)$ - מקום הגוף ברגע t. $\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$ $\sum \vec{F} = -c\vec{x}$	ניסויים: - דגימת הכוח הפועל על גוף מתנודד כפונקציה של המקום. - דגימת המקום של גוף מתנודד כפונקציה של הזמן.
6.2 נוסחאות קינמטיות לתיאור תנועתו של אוסצילטור הרמוני	- הצגת משוואת התנועה ופתרון כללי של המשוואה. - משמעות הקבועים המופיעים בפתרון הכללי של המקום כפונקציה של הזמן. - פיתוח ביטויים מתמטיים למהירות ולתאוצה כפונקציה של הזמן. - פיתוח ביטוי לזמן-המחזור.	$-c\vec{x} = m\ddot{\vec{x}}$ $x(t) = A \cos\left(\sqrt{\frac{c}{m}}t + \phi\right)$ $x(t) = A \cos(\omega t)$ $v(t) = -A\omega \sin(\omega t)$ $a(t) = -A\omega^2 \cos(\omega t)$ $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$	- גיליון אלקטרוני: פתרון משוואת התנועה של אוסצילטור הרמוני באופן נומרי.
6.3 דוגמאות: תנודות גוף הקשור לקפיץ אנכי מטוטלת פשוטה	- תנודות גוף הקשור לקפיץ אנכי: ניתוח כוחות וניתוח המרות אנרגיה. - תנודות מטוטלת פשוטה - קירוב זוויות קטנות; פיתוח נוסחה לזמן-המחזור. - השוואה בין גרף "כוח-מקום" בתנועה הרמונית לבין גרף "כוח-מקום" בתנודות שאינן הרמוניות.	$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}$	- מדידת זמן-המחזור של תנודות אנכיות כפונקציה של המסה. - מדידת זמן-המחזור של מטוטלת פשוטה כפונקציה של אורך המטוטלת.

פרק 7 : כבידה

נושא	פירוט	נוסחאות	פעילויות
------	-------	---------	----------

7.1 רקע היסטורי וחוקי קפלר	- פיתגורס: מודל גאוצנטרי. - אריסטו: עולם תת-ירחי ועולם על-ירחי. - תלמי: תיאור מסלול כוכב לכת ע"י מעגל משני ומעגל ראשי. - קופרניקוס: מודל הליוצנטרי, יתרונותיו וחסרונותיו. - טיכו ברהה: תצפיותיו האסטרונומיות. - גלילאו גליליי: תגליותיו באמצעות הטלסקופ (פני הירח, שביל החלב, ירחי צדק, מופעי נוגה). - יוהן קפלר: שלושת החוקים.	$T^2 = kr^3$ $\left(\frac{\bar{r}_1}{\bar{r}_2}\right)^3 = \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^2$	- ניתן לצפות בשני הסרטים: "שלושת חוקי קפלר" ו"בעיית קפלר" מסדרת סרטי הווידאו "היקום המכני" (אופ).
7.2 חוק הכבידה	- הביטוי לכוח הכבידה בקירוב שבו המסלולים הם מעגליים. - יחס תאוצות הנפילה החופשית, של עצם על פני הארץ ושל הירח בכיוון הארץ, שווה ליחס ההפוך של מרחקי הגופים ממרכז הארץ. - ניסוח חוק הכבידה. - ניסוי קבנדיש: חישוב מסה של גרם שמים על פי תאוצת הנפילה החופשית על פניו g^*. - הצלחות נוספות לתאוריית הכבידה: גילוי נפטון, הסבר תופעת הגיאות והשפל (איכותי). - תנועת לוויינים במסלולים מעגליים; חישוב מסת כוכב על פי נתוני לוויין שלו.	לגבי גרם שמים כדורי $F = G \frac{Mm}{r^2}$ $g^* = \frac{GM}{r^2}$	- הדמיית מחשב: תנועת לוויינים או ירחים סביב כוכב או פלנטה (כדוגמת צדק בפרויקט Clea).
7.3 המושג "שדה", עבודה ואנרגיה בשדה הכבידה	- המושגים: "עצמת שדה הכבידה", "שדה הכבידה", "שדה אחיד", "שדה רדיאלי". - יתרונות תיאור הכבידה באמצעות המושג "שדה". - שדה הכבידה כשדה משמר. - הביטוי המתמטי לאנרגיה הפוטנציאלית הכבידתית. - המרות אנרגיה בשדה הכבידה. - גודל מהירות המילוט ואנרגיית קשר.	$U_G = -\frac{GMm}{r}$ $E_k = -\frac{U_G}{2}$ $E = -\frac{GMm}{2r}$	

נושא: אלקטרומגנטיות
פרק 1: חוק קולון והשדה האלקטרוסטטי

נושא	פירוט	נוסחאות	פעילויות מומלצות
1.1 תופעות חשמליות(הצגה איכותית בלבד)	- שני סוגי מטען חשמלי והכוחות הפועלים ביניהם. - מוליכים ומבודדים - מבוא על המבנה החשמלי של חומרים. - השראה אלקטרוסטטית. - המושג "שיווי-משקל אלקטרוסטטי": הימצאות המטען העודף של המוליך על פני המוליך והצטופותו באזורי חודים. - תנועת מטענים במעבר בין מצבים של שיווי-משקל אלקטרוסטטי - "זרמים חשמליים חולפים". - שימור המטען החשמלי.		- הדגמה: כוחות דחייה ומשיכה בין לוחיות פלסטיק משופשפות. - הדגמה: מוליכות חשמלית של חומרים, למשל: מעבר מטענים בין אלקטרוסקופים. - הדגמה: מבנה אלקטרוסקופ, השראה אלקטרוסטטית, טעינה באמצעות שפשוף וטעינה באמצעות השראה. - הדגמה: הדלקת נורת ניאון בקרבת מחולל אלקטרוסטטי.
1.2 חוק קולון	- "חוק קולון" - חוק הכוח בין מטענים חשמליים נקודתיים. - המושג "מטען חשמלי נקודתי". - קולון - יחידת המטען החשמלי. - קיום מטען יסודי (אלמנטרי). - השוואה בין כוחות חשמליים וכוחות כבידה. - "עקרון הסופרפוזיציה" של כוחות חשמליים.	$F = \frac{kq_1q_2}{r^2}$ $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$	- ניתוח סרט וידאו או הדמיה של חוק קולון. - הדגמה: טעינה ע"י הפרדה של מטענים.
1.3 השדה האלקטרוסטטי, המושג "שדה" בפיזיקה	- שדות בתחומים שונים של הפיזיקה. - השדה החשמלי (האלקטרוסטטי) הנוצר ע"י מטען נקודתי - הגדרה ויחידות. - עקרון הסופרפוזיציה והשימוש בו לחישוב שדות חשמליים. - תיאור שדות חשמליים בעזרת קווי שדה.	$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$ $\vec{E} = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i$	- הדגמה של מיפוי של שדות חשמליים בעזרת כדור בוחן או הדמיה של מיפוי של שדות חשמליים. - הדגמה: קווי שדה ומיפוי של שדות חשמליים עם "מצפנים חשמליים".
1.4 חוק גאוס, הקשר בין חוק גאוס לחוק קולון	- המושג "שטף חשמלי". - חוק גאוס והקשר עם חוק קולון. - חישוב של שדות חשמליים בעזרת חוק גאוס במקרים פשוטים: • סביב מטען נקודתי. • בתוך ומחוץ לקליפה טעונה. - השדה החשמלי האחדיד בין לוחות קבל (ללא הוכחה).	$\phi_E = \int \vec{E} \cdot d\vec{A}$ $\phi_E = \frac{\sum q}{\epsilon_0}$ (דרך משטח סגור) $E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$	- הדגמה: סיכוך חשמלי ו"דלי פארדיי".

פרק 2 : פוטנציאל חשמלי, קיבול וקבלים

נושא	פירוט	נוסחאות	פעילויות מומלצות
2.1 פוטנציאל והפרש פוטנציאלים	- המושגים "כוח משמר", "שדה משמר". - השדה האלקטרוסטטי כשדה משמר. - "אנרגיה פוטנציאלית" ו"הפרש פוטנציאלים" בשדה האלקטרוסטטי. - "וולט" - יחידת הפוטנציאל. - הפוטנציאל של מטען נקודתי ושל מערך מטענים נקודתיים. - חישוב הפרש פוטנציאלים. - פוטנציאל של כדור מוליך טעון. - "הארקה". - חיבור שני מוליכים טעונים. - משטחים שווי-פוטנציאל וקווי שדה. - הקשר בין הפרש פוטנציאלים ושדה חשמלי. - האצה של מטענים על-ידי שדות חשמליים. - הטיה של אלומת אלקטרונים בשדה חשמלי אחיד. - יישומים: "תותח אלקטרונים", אוסילוסקופ. - היחידה "אלקטרון-וולט" (eV).	$V_{A,B} = -\int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{r}$ $V = \frac{W}{q}$ $V = \sum \left(\frac{kq}{r} \right)$ $E = -\frac{\Delta V}{\Delta r}$	- ניסוי או הדמיה: מדידת הפרש פוטנציאלים בקרבת כדור מוליך טעון. - ניסוי: מיפוי שדה חשמלי בעזרת משטחים שווי-פוטנציאל באמבט אלקטרוליטי או בנייר מוליך. - הדמיות מחשב להמחשת שדות ופוטנציאלים שונים. - ניסוי: הטיה חשמלית של אלומת אלקטרונים בשפופרת טלטרון. - הדגמה: האוסילוסקופ כמד-מתח.
2.2 קיבול וקבלים	- המושג "קיבול חשמלי". - "פרד" - יחידת הקיבול החשמלי. - המושג "קבל". - הקיבול של קבל-לוחות - תלות הקיבול בפרמטרים. - הקבוע הדיאלקטרי, הסבר איכותי לתכונות של דיאלקטרן. - חיבור קבלים במקביל ובטור. - האנרגיה של מוליך טעון. - דיון וטיפול איכותי בטעינה ופריקה של קבל. - שימושים של קבלים.	$C = \frac{q}{V}$ $C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d}$ $U = \frac{1}{2} qV$	- ניסוי: מדידות קיבול של קבלים. - ניסוי או הדמיה: תלות הקיבול של קבל-לוחות בפרמטרים.

פרק 3 : מעגלי זרם ישר

נושא	פירוט	נוסחאות	פעילויות מומלצות
3.1 הזרם החשמלי ועצמת הזרם החשמלי	- הגדרת הזרם החשמלי ועצמתו. - תופעות לוואי של הזרם החשמלי. - הזרם הרגעי כשיפוע גרף מטען-זמן. - המטען כשטח שמתחת לגרף זרם-זמן. - יחידת עצמת הזרם והקשר בין עצמת הזרם החשמלי למחירות הסחיפה של האלקטרונים.	$I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$ $I = nqAv$	

3.2 המתח החשמלי וחוק אום	- הגדרת המתח החשמלי. - חוק אום.	$V = RI$	- ניסוי: אופייני נגד ונורת להט.
3.3 התנגדות	- תלות ההתנגדות בפרמטרים שונים. - נגד משתנה, חיבור כראוסטט וכפוטנציומטר.	$R = \rho \frac{1}{A}$	- ניסוי או הדמיה: תלות ההתנגדות בפרמטרים. - ניסויים בעזרת נייר מוליך. - ניסוי: גילוי תוכנה של קופסה סגורה (שני הדקים).
3.4 כא"מ ומתח הדקים	- מקור מתח. - הגדרת כא"מ ומתח הדקים. - התנגדות פנימית. - הקשר בין כא"מ ומתח הדקים.	$\varepsilon = V + rI$	- תלות מתח ההדקים בזרם.
3.5 טיפול כמותי בטעינה ופריקה של קבל	- הגדרת RC. - גרפי המתח והזרם כתלות בזמן בפריקה וטעינה. - השטח מתחת גרף הזרם כתלות בזמן.	$I = I_0 e^{-t/RC}$	- הדגמת טעינה ופריקה של קבל גדול דרך נורה. - ניסוי טעינה ופריקה של קבל.
3.6 הספק ואנרגיה במעגל חשמלי, נצילות	- אנרגיה חשמלית והספק חשמלי. - יחידות אנרגיה והספק, ה- kWh. - נצילות של תהליך המרת אנרגיה. - הפסדי אנרגיה חשמלית.	$P = VI$ $W = VI t$ $\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}}$	- ניסוי או הדגמה: אנרגיה בקבל טעון (פריקת קבל דרך נגד הנמצא בקלורימטר).
3.7 מעגלים חשמליים	- חיבור נגדים. - חיבור מקורות. - חוקי קירכהוף (רק עבור מעגלים עם 2 צמתים).	$R = \sum_{i=1}^n R_i$ $\frac{1}{R} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}$ $\sum I = 0$ $\sum \varepsilon = \sum RI$	- ניסוי: גילוי תוכנה של קופסה סגורה (ארבעה הדקים).
3.8 מכשירי מדידה	- מד-זרם ומד-מתח אידאליים. - השפעת מכשירים לא אידאליים על המעגל.		- הדגמה: הצגה של גליונומטר.

פרק 4: השדה המגנטי

נושא	פירוט	נוסחאות	פעילויות מומלצות
4.1 שדות מגנטיים של מגנטים וזרמים	- האופי הווקטורי של השדה המגנטי. - זיהוי השדה המגנטי בנקודה. - השוואה בין קווי השדה המגנטי לבין קווי השדה האלקטרוסטטי. - השדה המגנטי של כדור הארץ.		- הדגמת מיפוי שדות מגנטיים בעזרת מצפן.

4.2	- השדה המגנטי מפעיל כוח על מטענים נעים. - כיוון הכוח המגנטי. - תלות הכוח המגנטי בפרמטרים. - הגדרת עוצמת השדה המגנטי והשוואה להגדרת עוצמת השדה החשמלי.	$F = BIl \sin \alpha$	ניסוי או הדמית מחשב: תלות הכוח המגנטי בפרמטרים.
4.3	- הזרם כמקור השדה המגנטי. - חוק אמפר. - הקשרים בין השדות המגנטיים והזרמים בקרבת תיל ישר ארוך, במרכז כריכה מעגלית, בסילוניית.	$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$ $B = \frac{\mu_0 I}{2R}$ $B = \frac{\mu_0 NI}{l}$	- ניסוי: מדידת השדה המגנטי בתוך סילוניית (מאזני זרם). - ניסוי: גליונומטר טנגנטי.
4.4	- הגדרת האמפר. - כיוון הכוח ביחס לכיוון הזרמים.	$F = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi r}$	הדגמה: כוח בין שני תילים נושאי זרם.
4.5	- מעבר מכוח הפועל על תיל נושא זרם לכוח הפועל על מטען נע (כוח לורנץ). - הכוח המגנטי אינו משנה את גודל המהירות (עבודתו אפס). - השוואה בין הכוח המגנטי והכוח החשמלי. - הצגת המכפלה הווקטורית.	$F = qvB \sin \alpha$ $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$	- ניסוי או הדמית מחשב: מדידת e/m. - הדמית מחשב: הדגמת תנועת מטען במרחב.
4.6	- בורר מהירויות. - ספקטרוגרף מסות. - ציקלוטרון.		הדמה: ספקטרוגרף מסות וציקלוטרון.

פרק 5: השראה אלקטרומגנטית

נושא	פירוט	נוסחאות	פעילויות מומלצות
5.1	- כא"מ הנוצר בין קצות מוליך הנע בשדה מגנטי אחיד - הסבר בעזרת כוח לורנץ. - כא"מ הנוצר בלולאה כתוצאה מתנועתה יחסית לשדה מגנטי. - שטף מגנטי דרך משטח. - חוק פארדיי. - כא"מ הנוצר בלולאה כתוצאה משינוי בזמן של השדה המגנטי. - חוק לנץ וקביעת כיוון הזרם המושרה. - חוק לנץ כנובע משימור אנרגיה.	$\varepsilon = B \ell v \sin \alpha$ $\phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{A}$ $\varepsilon = - \frac{d\phi}{dt}$	- הדגמת זרם מושרה בסליל הנע בקרבת מגנט. - הדגמות בעזרת אוסצילוסקופ. - הדגמה: מדידת B בעזרת סליל בוחן. - ניסוי: כא"מ במנוע מרים משא. - ניסוי: בלימת מנוע מרים משא. - הדגמה: מגנט נופל בתוך צינור אלומיניום.
5.2	- גנרטור AC - הכא"מ המושרה בסליל הטבעתי המסתובב בשדה מגנטי. - מתח זרם אפקטיביים. - שנאי אידאלי. - העברת אנרגיה.	$\varepsilon = -\omega N B A \sin \omega t$ $\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} = \frac{N_2}{N_1}$	ניסויים במערכת שנאי מתפרק.

5.3 השראה עצמית	- המושג "השראות". - התנהגות משרן במעגל זרם ישר (דיון איכותי).	$\varepsilon = -L \frac{di}{dt}$	- ניסויים במערכת שנאי מתפרק. - הדגמה: הדלקת נורה בהשהיה.
5.4 משוואות מקסוול	- הצגת המשוואות ללא פיתוח כסיכום לנושא האלקטרומגנטיות.		- סרט בסדרה: "מעבר ליקום המכני" (או"פ).

נושא: קרינה וחומר

פרק 1: תופעות יסודיות של האור, ייצוג מהלך האור באמצעות קרניים

נושא	פירוט	נוסחאות	פעילויות מומלצות
1.1 ראיית עצמים, אפיון האור, ייצוג מהלך האור באמצעות קרניים	- מבנה העין ותנאים לראייה. - מקורות אור וגלאי אור. - אפיונים ראשוניים למהות האור: אור כנושא אנרגיה, התפשטות וכיווניות (יצירת צל), בדיקת אינטראקציה בין אור לאור ובין אור לחומר, אפיון גופים לפי תגובתם לאור (החזרה, בליעה, העברה), האם לאור יש מסה? - ייצוג מהלך האור באמצעות קרניים: • הכרת המושגים: "מקור אור נקודתי", "קרן", "אלומה" ואפיון אלומות אור שונות. • שימוש בתרשימי קרניים לאיתור צל.		- הדגמות: מבנה העין; יצירת דמות של הנוף המשתקף מחלון (על מסך כגון קיר) באמצעות עדשה. - הדגמה: הצגת מקורות אור שונים. - הדגמה: חיתוך בין שתי אלומות אור. - הדגמה: הצגת אלומות אור שונות והצגת הקשר בין תבניות האור לייצוג הגרפי. - הדגמה: היווצרות צל וצללית.
1.2 החזרת אור: חוקי ההחזרה, דמות במראה מישורית	- מושגים: "קרן פוגעת", "קרן מוחזרת", "אנך למישור המראה", "זווית הפגיעה", "זווית ההחזרה". - חוקי ההחזרה. - "דמות" של עצם במראה מישורית: • בניית מהלך האור ואיתור הדמות של עצם נקודתי. • הקשר בין רוחק העצם הנקודתי לרוחק דמותו. • בניית דמות של עצם קווי. • התנאים לראיית "דמות מדומה", "שדה ראייה".	זווית פגיעה = זווית החזרה	- הדגמה: החזרה של אלומה צרה ואלומה מתפזרת. - הדגמה: המחשת המושג "דמות מדומה" ואיתור מקומה (בעזרת מראה מישורית ושני נרות).

1.3 שבירת אור : חוק השבירה, החזרה חלקית ומלאה	- התופעות המלוות את פגיעת האור במשטח גבול בין תווך שקוף אחד למשנהו : אור מוחזר ואור מועבר. - חוקי השבירה. - המושג "מקדם השבירה" של חומר ביחס לריק. - המושג "זווית גבול", תופעת "ההחזרה המלאה". - מעבר אור במנסרה, "זווית ההסחה". - תופעת ה"נפיצה" ומשמעותה.	$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_2}{n_1}$	- הדגמה : שינוי מהלכה של אלומת אור צרה הפוגעת במשטח גבול בין תווכים שקופים (אוויר/נוזל/ מוצק). - ניסוי : חקירת תלות זווית השבירה בזווית הפגיעה. - הדגמה : ראיית מוט זכוכית בתוך אוויר ומים ו'היעלמותו' בגליצרו. - הדגמה : החזרה מלאה במנסרה ובסיב אופטי. - הדגמה : נפיצה במנסרה.
1.4 עדשות כדוריות דקות : מהלך האור ויצירת דמויות	- אפיון צורני של עדשות כדוריות. - מושגים : "ציר אופטי", "מוקד עדשה", "רוחק מוקד", "קרניים מיוחדות". - דמותו של עצם בעדשה מרכזת ומפזרת : איתור מקום הדמות בעזרת "קרניים מיוחדות", סרטוט מהלך קרן כלשהי, סימון שדה הראייה. - "הגדלה קווית".	$\frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v}$ $\frac{H_i}{H_o} = \frac{ v }{ u }$	- הדגמה : עדשות כדוריות שונות – מבנה ומוקד. - הדגמה : מהלך 'קרן', אלומה מקבילה ואלומה מתפזרת בעדשות מרכזות ומפזרות. - ניסוי : חקירת עדשה מרכזת - הקשר שבין מיקום עצם למיקום הדמות ואופייה.

פרק 2 : המושג "מודל", תפקידיו, המודל החלקיקי של האור

נושא	פירוט	נוסחאות	פעילויות מומלצות
2.1 המושג "מודל", תפקידי המודל	- הצגת עובדות יסודיות של האור (תמצית הפרק "תופעות יסודיות של האור, ייצוג מהלך האור באמצעות קרניים"). - הצגת המושג "מודל". - תפקיד המודל והצגת דוגמאות כגון : ארבעת היסודות של אריסטו, תאוריית הכבידה של ניוטון.		
2.2 המודל החלקיקי של האור	- בנייה ראשונית של המודל על סמך העובדה שלאור מקורות והוא מתפשט במרחב. - המשך פיתוח המודל כדי להסביר עובדות אלה : • מסתו של מקור הפולט אור אינה פוחתת. • אלומת אור מתפשטת בקווים ישרים. • שתי אלומות אור נחתכות אינן משפיעות זו על זו. • החזרת אור. • מעבר אור מתווך לתווך. • נפיצת אור. • אור כאנרגיה.		- הדגמה : שינוי כיוון של תנועת כדור המתגלגל על הרצפה, על-ידי הפעלת כוח רגעי בכיוון שונה מכיוון תנועתו.

2.3 ניבויי המודל החלקיקי של האור	- ניבוי המודל : אור מפעיל לחץ. - ניבוי המודל : מהירות האור בזכוכית גדולה מזו שבאוויר. - הצגת תוצאות אמפיריות של ניסויים (פוקו, מייכלסון) שבאמצעותם גילו כי מהירות האור בזכוכית קטנה מזו שבאוויר פי מקדם השבירה של החומר ביחס לאוויר. - מעמדו של המודל החלקיקי : ציון תופעות שאפשר להסביר באמצעות המודל ושל אלו שאי-אפשר להסביר באמצעותו.	נוסחה אמפירית : $v=c/n$	- צפייה בסרט "לחץ האור" (PSSC).
--	---	-------------------------------	---

פרק 3 : גלים מכניים ואלקטרומגנטיים

נושא	פירוט	נוסחאות	פעילויות מומלצות
3.1 תכונות של פולסים והשוואתן לתכונות האור	- המושגים : "פולס" (זעזוע), "פולס רוחב", "פולס אורך". - תיאור של פולס : • המושגים : "מקום", "העתק" ו"משרעת". • תיאור פונקציית העתק-מקום : $y(x)$. • תיאור פונקציית העתק-זמן : $y(t)$. - מהירות פולס וסוג התנועה בתווך אחד, השוואה לאור, מהירות חלקיקי תווך שבו מתפשט פולס. - "עקרון הסופרפוזיציה" : • היעדר אינטראקציה בין פולסים, השוואה לאור. • הסבר עקרון הסופרפוזיציה. • המושגים : "התאבכות", "התאבכות בונה", "התאבכות הורסת", "נקודת צומת". - החזרת פולס מקצה חפשי ומקצה קשור. - מעבר פולס מתווך אחד למשנהו, השוואה לאור. - פולס נושא אנרגיה, השוואה לאור.		- הדגמה : תנועת פולס בקפיץ (אורך ורוחב). - ניסוי : ניתוח סרטון וידאו המתאר תנועת פולס. - הדגמה : התקדמות שני זעזועים בקפיץ. - תרגול : בניית סופרפוזיציה באמצעות נייר ועיפרון. - ניתוח ממוחשב של סופרפוזיציה בהדמיה או בגיליון אלקטרוני. - הדגמה : החזרה בקפיץ. - הדגמה : מעבר פולס מתווך לתווך בקפיצים.

- הדמיה : גלים מחזוריים. - הדגמות וניסויים באמבט גלים : יצירת פולסים וגלים מחזוריים ומדידת מהירות ואורך-גל. - פעילות ממוחשבת או סרטון וידאו : הקשר בין סופרפוזיציה לגלים עומדים. - ניסוי Melde.	$f = \frac{1}{T}$ $v = \lambda f$ $l = n \frac{\lambda}{2}$	- גלים מחזוריים : • פונקציית "העתק-מקום" של גל מחזורי, המושגים : "גל מחזורי במקום", "אורך-גל". • פונקציית "העתק-זמן" של מקור גלים מחזורי, המושגים : "מקור גלים מחזורי בזמן", "זמן-מחזור", "תדירות". • הקשר בין תנועת מקור הגל לבין צורת הגל. • הקשר בין מהירותו של גל מחזורי, תדירותו ואורך-הגל שלו. - סופרפוזיציה בגלים מחזוריים : "התאבכות בונה", "התאבכות הורסת", "נקודות צומת". - גלים עומדים : אורכי הגל והתדירויות המותרות, חשיבות תנאי השפה.	3.2 גלים מחזוריים חד-ממדיים
- הדמיית אמבט גלים : התבוננות בחתכים ניצבים לאמבט תוך שינוי פרמטרים שונים. - ניסוי רגיל, ממוחשב או ניתוח סרטון וידאו : החזרה ממחסום ישר באמבט גלים.	$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2}$	- מושגי יסוד : "חזית גל", "כיוון התפשטות", "גל ישר", "גל מעגלי", "עקרון הויגנס". - השוואה בין החזרה של גלי מים להחזרת אור. - השוואה בין מעבר גל מים מתווך אחד למשנהו למעבר אור מתווך לתווך. - השוואה בין נפיצת גלי מים לנפיצת אור.	3.3 תכונות של גלים דו-ממדיים והשוואתן לתכונות האור

- ניסוי : התאבכות באמבט גלים - מציאת אורך-גל על פי הפרש מרחקים של נקודה על קו מקסימום או על קו מינימום משני המקורות. - ניסוי או הדמיה : התאבכות באמבט גלים - תלות תבנית ההתאבכות בפרמטרים השונים. - ניסוי או הדמיה : תמונת התאבכות של אור מונוכרומטי (לייזר) דרך שני סדקים ותמונת עקיפה. - ניסוי או הדמיה : עקיפה באמבט גלים - תלות תבנית העקיפה בפרמטרים השונים. - ניסוי או הדמיה : תמונת עקיפה של אור מונוכרומטי (לייזר) ושל "אור לבן" דרך סריג עקיפה.	קווי מקסימום עבור $L \gg d$ $\sin \theta_n = \frac{x_n}{L_n} \approx n \frac{\lambda}{d}$ קווי צומת עבור $L \gg d$ $\sin \theta_n = \frac{x_n}{L_n} \approx (n - \frac{1}{2}) \frac{\lambda}{d}$ עבור $L \gg d$ וזוויות קטנות : $\frac{\Delta x}{L} \approx \frac{\lambda}{d}$ $\sin \theta_n = \frac{x_n}{L_n} = n \frac{\lambda}{w}$ $\sin \theta_n = \frac{x_n}{L_n} = n N^* \lambda$	- התאבכות גלי מים משני מקורות : "מקורות שווי-מופע", "מקורות שוני-מופע". - התאבכות אור משני חריצים, "מקורות אור קוהרנטיים". - השפעת הפרש המופע בין המקורות על תבנית ההתאבכות. - "עקיפה" : תבנית העקיפה כהתאבכות המתקבלת מרצף של מקורות נקודתיים. - "סריג עקיפה", שימושים. - המודל הגלי של האור והאופטיקה הגאומטרית. - מעמדו של מודל הגלים המכניים, מהו התווך שהאור מרעיד?	3.4 התאבכות ועקיפה בגלי מים ובאור
- הדגמה : תופעות גליות של גלי מיקרו. - הדגמה : תופעת הפלואורסצנסיה של קרינה על-סגולה. - הדגמה : החזרה של קרינה תת-אדומה משלט-רחוק. - סרט על הספקטרום האלקטרומגנטי ושימושו.		- עיקרי המודל האלקטרומגנטי של האור, ניבוי התאוריה האלקטרומגנטית. - גלים אלקטרומגנטיים – היבטים מדעיים, טכנולוגיים והיסטוריים : • השפעת האטמוספירה על קרינת אלקטרומגנטית. • התחומים השונים של ספקטרום הקרינה האלקטרומגנטית, יישומים טכנולוגיים. - קשיים של מודל הגלים האלקטרומגנטיים.	3.5 גלים אלקטרו-מגנטיים, ספקטרום, יישומים ורקע היסטורי

פרק 4: מבוא לתורת הקוונטים- המודל הדואלי של האור

נושא	פירוט	נוסחאות	פעילויות מומלצות
4.1 האפקט הפוטו-אלקטרי, הסבר איינשטיין וניסוי מיליקן	- הדגמה איכותית של האפקט הפוטואלקטרי. - אי-יכולתה של תאוריית מקסוול להסביר חלק מן העובדות הניסיוניות לגבי האור, השערת פלנק. - התא הפוטואלקטרי, חקירת תלותו של מתח העצירה בתדירות הקרינה הפוגעת, ניסוי מיליקן. - המודל של איינשטיין לאפקט הפוטואלקטרי. - יישומים: פתיחת דלתות, מנגנוני אזעקה, מכפיל-אור.	$E_{\text{פוטון}} = hf$ $E_{\text{פוטון}} (\text{eV}) = \frac{12,400}{\lambda \left(\text{\AA} \right)}$ $E_{\text{פוטון}} = E_k + B$	- ניסוי: הדגמה איכותית של האפקט הפוטו-אלקטרי. - ניסוי: תלות מתח עצירה בתדירות הקרינה.
4.2 אפקט קומפטון	- תיאור איכותי של אפקט קומפטון. - הביטוי לתנע של פוטון, הפוטון כחלקיק.	$p = \frac{h}{\lambda}$	
4.3 קרינת רנטגן לאור הסבריו של איינשטיין	- הכרת החלקים העיקריים של שפופרת ליצירת קרינת רנטגן ותפקידיהם: שפופרת ריק, קתודה, מטרה, מערכת קירור המטרה, מקור מתח מאיץ, נימה, מקור מתח חימום. - קרינת רנטגן כקרינת האטה וכקרינה אופיינית לחומר המטרה. - הספקטרום הרציף של קרינת רנטגן הנפלטת משפופרת, הקשר בין המתח המאיץ לבין אורך הגל המינימלי.		- צפייה בסרטים בנושא.
4.4 המודל הדואלי של הקרינה האלקטרו-מגנטית	- מיון ואפיון תופעות הקשורות באור המוסברות על-ידי האופי החלקיקי, וכאלה המוסברות על-ידי האופי הגלי. - תלות המודל החלקיקי במודל הגלי, ולהפך.		

פרק 5: מבנה האטום

נושא	פירוט	נוסחאות	פעילויות מומלצות
5.1 גילוי האלקטרון	- קרני קתודה - רקע היסטורי (ויכוחים לגבי מהות הקרניים). - ניסויים לחשיפת תכונות קרני קתודה.		- ניסויים והדגמות: שפופרת צלב מלטי: הסחה בשדה חשמלי ובשדה מגנטי. - מדידת היחס e/m. - אלקטרוליזה.
5.2 מודל האטום על פי תומסון	- הצגת המודל ומגבלותיו.		
5.3 ניסוי רתרפורד והמודל הפלנטרי של האטום	- ניסוי רתרפורד; גרעין האטום. - חישוב רדיוס אטום המימן בעזרת ערך ניסיוני של אנרגיית היינון. - מגבלות המודל.		- המחשת המודל בעזרת מתקן מכני (ראו הערות דידקטיות). - הדמיית מחשב: פיזור חלקיקי α על-ידי גרעין זהב.

5.4	ספקטרום הפליטה הניסיוני של אטום המימן	- סדרות לימן, בלמר, פשן וברקט, ומקומן בספקטרום האלקטרומגנטי. - נוסחה אמפירית לחישוב אורכי הגל של הסדרות.	$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$	- מדידת אורכי הגל בתחום הנראה, הנפלטים מגז מימן חד-אטומי.
5.5	מודל בוהר לאטום מימן	- הנחות בוהר. - גזירת ביטויים עבור "רמות האנרגיה" האטומיות ועבור רדיוסי המסלולים של האלקטרונים. - דיאגרמת רמות אנרגיה (רמות בדידות ורצף). - חישוב אורכי הגל של ספקטרום הפליטה. - המושגים: "מצב יסוד" של האטום, "מצבים מעוררים", "אנרגית יינון".	$2\pi r_n \cdot mv_n = nh$ $r_n = a_0 n^2$ $a_0 = \frac{h^2}{4\pi^2 m k e^2}$ כאשר: $E_n = -\frac{R^*}{n^2} = -\frac{13.6\text{eV}}{n^2}$ כאשר: $R^* = \frac{2\pi^2 m k^2 e^4}{h^2} = 13.6\text{eV}$	
5.6	ניסוי פרנק-הרץ	- מערכת הניסוי, מהלך הניסוי ותוצאותיו.		- ניסוי פרנק-הרץ או דומה לו.
5.7	ספקטרום פליטה וספקטרום בליעה	- ספקטרום פליטה וספקטרום בליעה של גזים שונים. - עירור אטומי על-ידי חלקיקים. - השוואה בין ספקטרום פליטה וספקטרום בליעה של אותו אטום. - הקשר בין קרינה הנפלטת מאטום לבין רמות האנרגיה האטומיות.		
5.8	עקרון ההתאמה של בוהר	- הצגת העיקרון. - חישוב תדירויות הקרינה הנפלטת מאטום מימן בעל רדיוס גדול - בעזרת התורה האלקטרומגנטית הקלאסית ובעזרת מודל בוהר.		

פרק 6: מבוא לתורת הקוונטים - דואליות החומר

נושא	פירוט	נוסחאות	פעילויות מומלצות
6.1 גלי דה-ברויי	- הנחת דה-ברויי. - ניסוי תומסון (G.P. Thomson): התאבכות אלקטרונים. - הסבר הקוונטיזציה של אנרגיית האטום בעזרת גלים עומדים, ומגבלותיו.	$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} = \frac{h}{\sqrt{2mE_k}}$	- התאבכות אלקטרונים לאחר מעברם דרך עלה גבישי דק.
6.2 המודל הקוונטי-הסתברותי של אור ושל חלקיקים	- עקרון הקומפלמנטריות של בוהר. - ההסבר של מקס בורן להתאבכות משני חריצים. - תוצאות ניסויים של מעבר פוטונים זה אחר זה דרך חריץ ודרך זוג חריצים. - תוצאות ניסויים של מעבר אלקטרונים זה אחר זה דרך חריץ ודרך זוג חריצים.		

6.3	- הכרת העיקרון. - יישום העיקרון לעקיפה בסדק.	$\Delta x \Delta p \geq \frac{h}{4\pi}$	
-----	---	---	--

פרק 7: הגרעין ומבוא לחלקיקים יסודיים

נושא	פירוט	נוסחאות	פעילויות מומלצות
7.1 מבנה הגרעין והכוח החזק	- תופעות שמחן ניתן ללמוד על מבנה הגרעין: רדיואקטיביות, פיזור רתרפורד. - המושגים: "מספר אטומי", "מספר מסה", "ייסוד", "איזוטופ". - מרכיבי הגרעין, מסותיהם ומטעניהם. - הכוח הגרעיני החזק ותכונותיו.		
7.2 תהליכים גרעיניים	- תהליכי פליטת α, β^-, β^+, γ, גילוי הנויטרינו (בהקשר לשימור חוקי השימור). - לכידת אלקטרון.		
7.3 התפרקות רדיו-אקטיבית	- המושג "סדרה רדיואקטיבית" (הכרת דוגמה). - אקראיות ההתפרקות הרדיואקטיבית של גרעין יחיד, החוקיות הסטטיסטית בהתפרקות גרעינים במדגם גדול, המושג "קבוע הדעיכה". - מספר גרעיני-האב במדגם רדיואקטיבי כפונקציה של הזמן; המושגים: "זמן מחצית החיים", "פעילות". - יישומים: קביעת גיל של עצמות בעזרת כמויות פחמן, הריסת תאים סרטניים, איתור דליפת מים מצינור הטמון בקרקע.	$\frac{dN}{dt} = -\lambda N$ $N = N_0 e^{-\lambda t}$ $R = \lambda N$ $T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$	- בניית רמות אנרגיה גרעיניות של גרעין-בן, על סמך ערכי האנרגיה של הקרינה הרדיואקטיבית הנפלטת מגרעין-האב.
7.4 אנרגיית קשר גרעינית	- האקוויולנטיות בין מסה ואנרגיה. - אנרגיית הקשר הגרעינית, תלות אנרגיית הקשר הגרעינית הממוצעת לנוקליאון במספר הנוקליאונים. - תהליכי ביקוע גרעיני ויישומיו. - תהליכי מיזוג גרעיני.	$\Delta E = \Delta mc^2$	- בניית גרף של אנרגיית קשר ממוצעת כפונקציה של מספר הנוקליאונים.
7.5 חלקיקים יסודיים	- הכוחות היסודיים, וחלקיקים נושאי הכוחות. - חלקיקים ואנטי-חלקיקים. - אניהילציה ויצירת זוגות (איכותי).		