

קרינה וחומר - הרחבה והעמקה

שעות מומלצות	הנושא
15	1. תופעות יסודיות של האור, ייצוג מהלך האור באמצעות קרניים
8	2. גלים מכניים ואלקטרומגנטיים
4	3. מבוא לתורת הקוונטים - המודל הדואלי של האור
2	4. מבנה האטום
2	5. מבוא לתורת הקוונטים - דואליות החומר
2	6. הגרעין, ומבוא לחלקיקים יסודיים
35	סה"כ

טבלת הנושאים ופירוטם

שעות	פעילויות מומלצות	נוסחאות	פירוט	נושא
15	<ul style="list-style-type: none"> - תצפיות לילות במופעי הירח במשך תקופה. - ניסוי או הדגמה: בניית לשכה אפלה מקופסה וצפייה בתבניות האור. - הדגמה: יצירת דמויות מרובות במערכת מראות מישוריות. - הדמיית מחשב: הצגת מהלך של אלומות קרניים במערכת של שתי מראות. 	$\frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} = \frac{1}{f}$ $\mu_{\max} = \frac{d}{f} + 1$ $\mu_{\min} = \frac{d}{f}$	<ul style="list-style-type: none"> - מופעי הירח וליקויי מאורות: • פיזור האור וזווית הראייה. • המושגים "ליקוי חמה" ו"ליקוי לבנה". - הלשכה האפלה. - מראות: • מראות מישוריות - דמויות מרובות. • מראות כדוריות. - שבירה: • תופעות שבירה באטמוספירה, הקשת בענן. - יישומים טכנולוגיים: • מראות. • תופעת ההחזרה המלאה – מנסרות, סיבים אופטיים. • עדשות כדוריות – מכשירים אופטיים, הגדלה זוויתית, ליקויי ראייה ותיקונם. 	<p>1. תופעות יסודיות של האור, ייצוג מהלך האור באמצעות קרניים</p>
8			<ul style="list-style-type: none"> - גלי קול: • גל קול כגל אורכי, הסבר מיקרוסקופי, מהירות הקול. • היעדר נפיצה, ההד ושיקולים אקוסטיים. • עקיפה. - כלי נגינה: • יצירת הצליל, הרמוניות, תהודה. • כלי מיתר וכלי נשיפה. 	<p>2. גלים מכניים ואלקטרומגנטיים</p>

שעות	פעילויות מומלצות	נוסחאות	פירוט	נושא
			<ul style="list-style-type: none"> - אפקט דופלר: • מקור נע, קולט נע. • יישומים, מדידת מרחקים אסטרונומיים והתפשטות היקום. - ספקטרוסקופיה: • תמונת העקיפה כחותם של החומר המשדר. • פענוח ספקטרה. • שילוב עם אפקט דופלר. 	גלים מכניים ואלקטרומגנטיים (המשך)
4		$\lambda_{\max} \cdot T = \alpha$ $I = \sigma T^4$	<ul style="list-style-type: none"> - קרינת גוף שחור: • קרינת טמפרטורה, המושגים: "משטח לבן", "משטח שחור", "משטח שחור אידאלי", קרינת גוף שחור. • הגרף האופייני (עצמת הקרינה הנפלטת מגוף חם כפונקציה של אורך הגל). • חוק ההעתק של וין, נוסחת סטפן-בולצמן. • מנגנון היווצרות של קרינת חום. • "הקטסטרופה של האולטרה-סגול", הנחת פלנק. - אפקט קומפטון. 	3. מבוא לתורת הקוונטים - המודל הדואלי של האור

שעות	פעילויות מומלצות	נוסחאות	פירוט	נושא
2			- אטומים דמויי מימן.	4. מבנה האטום
2			- "פונקציית גל". - שימוש בעקרון אי-הוודאות כדי להוכיח שאלקטרון אינו יכול להיות קשור בתוך הגרעין.	5. מבוא לתורת הקוונטים – דואליות החומר
2			- חלקיקים יסודיים - "נכון לעת עתה". - סכנות השימוש באנרגיה גרעינית.	6. הגרעין ומבוא לחלקיקים יסודיים

קרינה וחומר – הערות דיסקטיות לנושאי הרחבה והעמקה

1. תופעות יסודיות של האור, ייצוג מהלך האור באמצעות קרניים (15 שעות)

מופעי ירח וליקויי מאורות (2 שעות)

- א. יש להדגיש כי הירח מפזר את אור השמש, והוא עצמו אינו מקור אור.
- ב. יש להדגיש כי בדרך כלל (למעט מקרה של ליקוי לבנה) חציו של הירח מואר על-ידי השמש, ומופעי הירח תלויים במצב ההדדי בין השמש, הארץ והירח.
- ג. כדי להסביר את מופעי הירח, אין להסתפק בתרשימים דו-ממדיים: כיוון שהתופעה היא מרחבית, מומלץ להציג דגם הכולל את השמש, הארץ והירח (קיימים דגמים מסחריים כאלה). נוסף לכך מומלץ להחשיך את חדר הכיתה, להפעיל נורה שתייצג את השמש, להציב כדור שייצג את הארץ ולבקש מתלמידים הממוקמים בנקודות שונות בכיתה לציין איזה חלק מן הכדור נראה להם מואר.
- ד. מומלץ לבקש מן התלמידים לערוך תצפיות בירח: לתעד את זמן הזריחה, את מופע הירח ולקבוע את הכיוון שבו נמצאת השמש בזמן התצפית.
- ה. יש לקשור בין מופעי הירח לבין התאריך על-פי הלוח העברי.
- ו. חשוב להסביר מדוע ליקוי לבנה וליקוי חמה אינם מתרחשים בכל חודש, ולהדגים זאת במרחב.

הלשכה האפלה (2 שעות)

- א. רצוי להתייחס לנושא "אות ורעש" בהקשר ללשכה האפלה (כלומר להשוות בין היעדר תבנית אור כאשר מקור אור מקרין על מסך לבן, לבין תבנית האור הנוצרת דרך פתח הלשכה).
- ב. אין לכנות את תבנית האור הנוצרת בלשכה האפלה בשם "דמות" משום שהקרניים אינן עוברות דרכים אופטיות שוות.

מראות

מראות מישוריות - דמויות מרובות (1 שעה)

- א. חשוב לקשר בין החוויה הוויזואלית של ראיית הדמויות המרובות לבין הסבר התופעה באמצעות מודל הקרניים וחוקי ההחזרה.
- ב. חשוב להדגיש כי דמות מדומה יכולה להוות עצם (ממשי) עבור רכיב אופטי נוסף.
- ג. חשוב לקשר בין שדה הראייה של דמות במראה לבין היווצרותן של דמויות נוספות.

- ד. רצוי להסתפק בהדגמת הנושא במראות ניצבות ומקבילות ולא לתרגל או לסרטט מהלך קרניים לזוויות אחרות.
- ה. רצוי להדגים את השתלשלות היפוך "ימין-שמאל" ו"פנים-אחור" במערכת מראות באמצעות עצם לא-סימטרי.
- ו. מומלץ להיעזר בהדמיית מחשב להדגמת מהלך אלומות קרניים ולאפשר לתלמידים לבדוק את השפעתם של גורמים שונים על שדה הראייה של הדמויות.
- ז. ייתכן שיעלו שאלות על גודלן הקטן והולך של דמויות במראות המקבילות - כדאי לדחות את העיסוק בכך עד ללימוד הנושא ההגדלה הזוויתית בסעיף העוסק בעדשות.
- ח. ייתכן שתלמידים יתהו האם ריבוי הדמויות אינו סותר את עקרון שימור האנרגיה במערכת. צריך להבהיר שהדמויות אינן מקור אנרגיה נוסף, אלא ניתוב של חלק מהאנרגיה המקורית. כך גם ניתן להסביר את בהירותן הפוחתת של הדמויות במראות המקבילות.

מראות כדוריות (3 שעות)

- א. יש להציג בפני התלמידים מראות קעורות ומראות קמורות.
- ב. המפתח להבנת מהלך האור לאחר פגיעה במראה הוא הרעיון של סטייה שונה בכיוון האור הפוגע בנקודות שונות על פני המראה. בכל נקודת פגיעה אפשר לראות את הקרן כפוגעת במראה מישורית, הממוקמת בכיוון משיק למראה הכדורית.

מושגי יסוד

- א. מומלץ להדגים מהלך של אלומת אור צרה הפוגעת באזורים שונים ולהראות את השוני בזווית הסטייה. בהקשר זה אפשר להציג את המושג "ציר אופטי ראשי".
- ב. מומלץ להדגים מהלך אלומת אור מקבילה במראה קעורה ובמראה קמורה ולהגדיר את המושג "מוקד" (ממשי ומדומה).
- ג. יש להראות כיצד המוקד ומרכז הכדור שממנו נגזרה העדשה מאפשרים הגדרת מהלכן של "קרניים מיוחדות".

דמות במראה קעורה וקמורה

- א. מומלץ להציע לתלמידים להתבונן במראות שונות בעצמים קרובים ורחוקים. בדרך זאת יגיעו באופן חווייתי להכרה שמראות משנות את מהלך האור ושהמרחק בין העצם למראה משפיע על פעולת המראה.

- ב. יש להדגים היווצרות דמויות ממשיות במראה מרכזת באמצעות "ספסל אופטי" ולחקור באופן איכותי וכמותי את הקשר בין מיקום העצם לאופי הדמות ולמיקומה.
- ג. יש לאפשר לתלמידים לערוך ניסוי של חקירת הדמות הממשית במראה מרכזת. לעיבוד התוצאות, מומלץ להשתמש בגיליון אלקטרוני.
- ד. במהלך ייצוג הדמות באמצעות קרניים, אין להסתפק באיתור מקום הדמות על-ידי "קרניים מיוחדות" בלבד. יש להראות מהלכן של אלומות קרניים נוספות, המגיעות אל העדשה מאותה הנקודה על העצם. כמו כן יש להתייחס לשדה הראייה של הדמות.
- ה. מומלץ להשתמש בהדמיה כדי להציג את מודל הקרניים עבור מעבר האור במראות כדוריות. אמצעי זה יחסוך זמן ומאמץ ויאפשר להציג את השינוי במיקום הדמות ואופייה כתלות בשינוי מרחק המוקד ומיקום העצם.
- ו. יש לאפשר לתלמידים לחוות ראייה של דמות ממשית ללא מסך. דבר זה מחייב הצבת התלמיד במרחק של כחצי מטר מהדמות ומיקום ראשו של התלמיד כך שאלומת האור תפגע ממש בעינו. שימוש בלוח זכוכית מט או בדף נייר לאיתור הדמות, והזזתו בהדרגה, מקלים על התלמיד להתרכז בדמות.

שבירה (1 שעה)

תופעות שבירה באטמוספירה - הקשת בענן

מומלץ להתייחס למאמר "הקשת בענן" שהופיע ב**תהודה**, כרך 15, חוברת 3.

יישומים טכנולוגיים (6 שעות)

יישומים טכנולוגיים של מראות

ניתן לבקש מהתלמידים לבצע פרויקט בנייה במערכת מראות (פריסקופ, קליידוסקופ ועוד). הפרויקט יכול להיות בדגש חקר, טכנולוגיה או אמנות.

יישומים טכנולוגיים של תופעת ההחזרה המלאה

- א. סיבים אופטיים - שימושים בתקשורת וברפואה. רצוי לתאר סכמתית את מבנה הסיב האופטי ולדון במשמעות עוביו הקטן ובחירת המעטפת.
- ב. רצוי להדגים מהלך של קרן לייזר בסיב אופטי העשוי מפרספקס וזרם מים.
- ג. אפשר להציג קטע מסרט על אבחון רפואי באמצעות סיב אופטי (לדוגמה: "הספקטרום האלקטרוני" בסדרה "פיזיקה בפעולה").

- ד. מנסרה להחזרה מלאה כמרכיב במשקפות ובמצלמות; רצוי להציג חתך של משקפת שדה ולהסביר את תפקיד המנסרה.
- ה. אפשר להתייחס להשפעת השימוש במנסרה (להחזרה מלאה) על האוריינטציה של הדמות הנצפית: תופעות השיקוף וההיפוך.
- ו. אפשר לציין את השימוש בתופעת ההחזרה המלאה בתעשייה. לדוגמה: בתעשיית היין והמיצים - ריכוז הסוכר משפיע על מקדם השבירה ועל זווית הגבול. מכשיר המדידה הבנוי על עיקרון זה מאפשר קביעת ריכוז הסוכר.
- ז. מומלץ להיעזר בהדמיית מחשב בהדגמת מהלך אלומות קרניים ולאפשר לתלמידים לבדוק את השפעתם של גורמים שונים על הובלת אור באמצעות החזרה מלאה.

יישומים טכנולוגיים של עדשות כדוריות

- א. נושא המצלמה משמש בעיקר רקע להבנת מבנה העין ופעולתה.
- ב. רצוי לאפשר לצלמים חובבים לתת הרצאה ולהדגים את עקרונות הצילום. תלמידים יכולים להכין לוח קיר על תולדות הצילום ולהציג תמונות מתקופות שונות.
- ג. ניתן לשלב היבטים בין-תחומיים על הקשר שבין כימיה ופיזיקה בתהליך הצילום ועל הקשר שבין הביולוגיה לפיזיקה בתהליך הראייה.
- ד. מומלץ להציג את הסרט "העין – דיווח מבפנים" שהופק על-ידי חברת "מוחות" עבור מורי הביולוגיה.
- ה. יש להתייחס לליקויי ראייה מבחינת הפגם המבני ומבחינת התוצאה האופטית.
- ו. רצוי להתייחס לשימוש במשקפיים משני היבטים: יצירת דמות במקום שבו העין יכולה להסתגל ולראות; יצירת מערכת אופטית (עין + משקפיים) בעלת מרחק-מוקד המתאים לעין הנתונה.
- ז. מסגרת השעות המוקצת אינה מותרת זמן לדין במערכת שתי עדשות. עם זאת, כדאי להביא ללא הוכחה את נוסחת העדשות הצמודות כדי להסביר את פעולת המשקפיים.
- ח. בקשר לפעולת הזכוכית המגדלת, מומלץ להתייחס למאמר: "לקחים ראשונים מבחינת הבגרות", תהודה, כרך 15, חוברת 3.

2. גלים מכניים ואלקטרומגנטיים (8 שעות)

גלי קול (2 שעות)

- א. ההסבר המיקרוסקופי להתקדמות הקול קשור בתנודה של חלקיקי התווך. לצד גדלים מתנוודדים המוכרים מן המיתר (סטייה משיווי-משקל, מהירות החלקיקים המתנוודדים, תאוצתם, התנע שלהם וכיו"ב), מדברים כאן גם על הלחץ כגודל משתנה במהלך התקדמות ההפרעה.
- ב. גל הקול בזורם (גז או נוזל) הוא גל אורכי. הדבר אינו משנה מנקודת ראות של מאפייני ההתקדמות הגלית (המהירות הקבועה, שמירת צורת ההפרעה, החזרה, שבירה, עקרון הסופרפוזיציה המתבטא בהתאבכות ובעקיפה, היעדר האינטראקציה בין גלי קול). טבעו של הזורם הוא שאין אצלו מאמצי גזירה (שהם רוחביים), אלא לחץ (שהוא אורכי) בלבד. לעומת זאת, לגלי קול במוצק (ובהם גלים סייסמיים בארץ) יש גם רכיבים רוחביים.
- ג. אורכיותו של הגל היא משמעותית כאשר בונים משדר (רמקול) או מקלט (מיקרופון), שבהם אמורה להתרחש תנודה אורכית.
- ד. מהירות הגל תלויה בתווך, ויש מקום לדיון איכותי על הפרמטרים שעשויים להשפיע על מהירות הקול.
- ה. הגל שומר על צורתו. שמירת הגל על צורתו היא האחראית לכך שדברים שיוצאים מפינו יישמעו למאזין בצורה שאינה תלויה במיקומו המדויק ביחס לדובר. השמירה על צורת הגל קשורה בהיעדר נפיצה (דיספרסיה) משמעותית - גלי הקול נעים במהירות שכמעט ואינה תלויה בתדירות.
- ו. היעדר האינטראקציה בין גלי הקול הוא חשוב ביותר. בלעדיו היה משתבש הקול בדרכו אל השומע כתוצאה מאינטראקציה עם גלי הקול הממלאים את חלל האוויר.
- ח. תופעת החזרה של גלי קול - ההד - מוכרת מאוד ויש להתחשב בה בשיקולים אקוסטיים. לעתים אף מנצלים אותה למטרות יישומיות.
- ט. עקיפה של גלי קול מוכרת לנו מחיי היום-יום. איננו חייבים לעמוד בדיוק מול הדלת הפתוחה כדי לשמוע בבירור את הדובר בחדר הסמוך.

כלי נגינה (2 שעות)

- א. כלי נגינה מייצרים גלי קול בהיותם מערכות מתנוודדות. הם מעניינים בהיותם יישום יום-יומי מעניין של תורת הקול. המערכות מורכבות מאוד, אך אפשר לדון בהן ברמה העקרונית, ולפעמים אפילו לקבל הערכות כמותיות טובות. אנו מצפים שתלמיד יהיה מסוגל לתת הסברים כלליים - לדוגמה: מדוע הגדלת כלי הנגינה גורמת לצליל נמוך יותר.

- ב. כלי הנגינה הם הזדמנות לומר כמה מילים על תופעות חשובות שאיננו מגיעים אליהן בדרך כלל. אפשר לדבר על העברת אנרגיה (בין הכלי לחלל התהודה ולאוויר) ועל צימוד ותהודה. תופעות אלה עשויות להיות הגורמים שיעוררו לחשיבה ולהבנה, בהיותן קשורות לחיי היום-יום.
- ג. כלי מיתר מעניינים בהיותם מערכת חד-ממדית של מיתר שנדון בכיתה. המיתר מעורר מצד אחד (על-ידי המושך בקשת, או הפורט, או המקיש בפטיש הפסנתר), ומעורר את האוויר לתנועה מן הצד השני. תדירות ההתנוודדות של המיתר ושל האוויר זהות, אך אורכי הגל בשני התווכים שונים. זה מאפשר דיון מעניין שיש בו יישום של הרקע העיוני. ברור שכלי המיתר מורכבים לאין שיעור מן המודל הפשטני (תיבת התהודה והצורה המדויקת של עירור המיתר עשויים להשפיע מאוד על הצליל), אך בכל זאת אפשר להפיק רווח גדול מן הדיון הפשטני הזה.
- ד. כלי מיתר הם אמצעי הדגמה מצוי, ואפשר אפילו לעשות אתם ניסויים כמותיים. מעבדה ממוחשבת מאפשרת ניתוח טוב של התופעות.
- ה. כלי נשיפה וכלים המבוססים על מפוח הם דוגמאות מצוינות להתנוודדות חללי אוויר. ההתנוודדות החד-ממדית של האוויר בחלל גלילי מאפשרת מודל כמותי פתיר.

אפקט דופלר (2 שעות)

- א. האפקטים הקשורים במקור נע הם מעניינים ובעלי יישומים חשובים. אמנם קשה להדגים באמבט גלים, אך הדמיית מחשב עשויה לחולל נפלאות. אין לוותר עליהם, והתלמיד אמור להיות מסוגל להסבירם ולהגיע להערכות כמותיות פשוטות.
- ב. הגורם הקובע את התנהגות הגל הוא היחס שבין מהירות המקור למהירות הגל, שהוא מספר חסר ממדים. כאשר מהירות המקור קטנה ממהירות הגל, מתקבל אפקט דופלר. אורך הגל והתדירות המתקבלת אצל הקולט יהיו תלויים במיקומו של הקולט. על עיקרון זה מתבססת שיטה למדידת מהירות של מכוניות, מטוסים וגלקסיות.
- ג. כאשר מהירות המקור גדולה ממהירות הגל, חזית הגל מקבלת צורה חרוט שבקדקודו המקור. זווית הפתיחה נקבעת על-ידי היחס בין מהירות הגל למהירות המקור. ידיעתה של אחת מהן (מהירות הגל או מהירות המקור) מאפשרת את קציבת השנייה מתוך מדידת הזווית. דוגמה מוכרת למהירות מקור הגדולה ממהירות הגל היא ה"בום העל-קולי".
- ד. התיאור הקודם הוא פשטני במה שנוגע למהירויות גבוהות בשל היווצרות לחצים גבוהים ושינויי טמפרטורה המביאים לשינויים במהירות הגל. עם זאת, חשוב מאוד להציגו.
- ה. אפקט דופלר קיים גם כאשר המקור נח (ביחס לתווך) והמשדר נע, ויש הבדל במידת ההסחה של אורך הגל בין המקרה הזה לבין המקרה של המקור הנע (הבדל מסדר שני בלבד).

ד. אפקט דופלר נלמד במסגרת הדיון בגלי הקול, אך הוא מעניין מאוד גם בגלים אלקטרומגנטיים. אין להעביר את הנוסחאות מן הגלים המכניים אל הגלים האלקטרומגנטיים, מפני שבאופן עקרוני המצב שונה - התווך, שהוא נקודת הייחוס לאפקט דופלר בגלי קול, אינו נדרש כלל לגלים אלקטרומגנטיים. בכל הנוגע לאפקט דופלר בגלים אלקטרומגנטיים, יש להסתפק בהסבר איכותי, אך אין לוותר על הצגתו.

ספקטרוסקופיה (2 שעות)

ספקטרום כחותם החומר המשדר

- א. ספקטרום אור השמש כולל קווים ספקטרליים חשוכים המכונים "קווי פראונהופר". יש להסביר את מקורם של קווים אלה. כדאי להציג את הניסוי ההיסטורי של הכימאים בונזן וקירכהוף (השוואת הספקטרום של אור לבן לספקטרום שהתקבל כאשר אור לבן עבר דרך אדי נתרן).
- ב. חשוב להדגיש כי על-פי הספקטרום של אור המגיע מכוכבים, אפשר לזהות יסודות הנמצאים על פני הכוכבים. כך יודעים למשל שעל פני כוכב פלוני יש ברזל.
- ג. כדאי להזכיר שאת ההליום זיהו תחילה על פני השמש, ורק מאוחר יותר על פני הארץ.

פענוח ספקטרה

מומלץ לערוך ניסוי בעזרת ספקטרומטר סריג של ספקטרום כספית לעומת ספקטרום של הליום או נתרן, ולזהות על התמונה את היסוד.

שילוב עם אפקט דופלר

- א. יש לציין כי הספקטרום של מקורות אור מוזז לאורכי גל ארוכים יותר אם מקור האור מתרחק מאתנו ("הזזה לאדום"), ולהפך.
- ב. על פי מידת ההסחה של הקווים הספקטרליים אפשר לחשב את המהירות של מקור האור ביחס לצופה.
- ג. יש לדון באפקט דופלר רק במצב של תנועה לאורך קו ישר.
- ד. מומלץ להשתמש ביישומונים (applets) הנמצאים ברשת האינטרנט.

3. מבוא לתורת הקוונטים - המודל הדואלי של האור (4 שעות)

קרינת גוף שחור (3 שעות)

- א. כדאי להתחיל את הנושא בחזרה על המושג "קרינת טמפרטורה". בהקשר זה יש לעמוד על ההבדל בין משטחים שונים: "משטח לבן", "משטח שחור", "משטח שחור אידאלי".
- ב. גרפים המתארים את עצמת הקרינה הנפלטת מגוף חם יש לתאר כפונקציה של אורך הגל והטמפרטורה.
- ג. את חוק ההעתקה של ווין וחוק סטפן בולצמן יש להסביר או להדגים לפי הזמן העומד לרשות המורה.
- ד. כדאי שבסיום לימוד הנושא, התלמידים יבינו מדוע "הקטסטרופה של העל-סגול" היוותה בעיה לפיזיקה הקלאסית.
- ה. מומלץ להסביר כיצד הנחת פלאנק פתרה את הבעיה.

אפקט קומפטון (1 שעה)

- א. טיפול בנושא זה מומלץ רק לכיתות מתקדמות בגלל המתמטיקה המורכבת הדרושה ללמידתו.
- ב. אפקט קומפטון מתקיים באלקטרונים חופשיים. ייחודו בכך שאורך הגל של הקרינה המפוזרת תלוי אך ורק בזווית הפיזור.
- ג. חשוב להדגיש כי שימור תנע ואנרגיה במקביל איננו אפשרי בבליעה של פוטון על-ידי אלקטרון. במקרה של אינטראקציה בין פוטון לאלקטרון חופשי, מתרחש אפקט קומפטון.
- ד. יש להדגיש כי ככל שאנרגיית הפוטון גדולה יחסית לאנרגיית הקשר של האלקטרון, ההסתברות לפיזור גדולה יותר.

4. מבנה האטום (2 שעות)

- א. יש להדגיש כי אפשר ליישם את המודל של בוהר על כל יון עם אלקטרון יחיד.
- ב. מומלץ לדון במודל של קרינת אלפא וקרינת תעלה.

5. מבוא לתורת הקוונטים - דואליות החומר (2 שעות)

- א. יש לדון בניסוי טיילור – הפרשנות ההסתברותית לפונקציית הגל.
- ב. הדיון בחלקיק בבור פוטנציאל אין-סופי הוא פשוט למדי והוא דומה לדיון בגלים עומדים במיתר הקשור בקצותיו.
- ג. בפונקציית הגל של חלקיק בקופסה ובאפקט התעלה יש לדון באופן איכותי בלבד.
- ד. על סמך עיקרון אי-הוודאות, יש להראות כי לא ייתכן מצב שבו אלקטרון יושב בגרעין האטום.

6. הגרעין ומבוא לחלקיקים יסודיים (2 שעות)

- א. הדוגמה של מודל קרינת האלפא כחלקיק בבור פוטנציאל ושל האופי האקראי של הקרינה הרדיואקטיבית יכולה לסייע בהבנת הפרשנות ההסתברותית של פונקציית הגל.
- ב. מומלץ לשלב דיון על היתרונות והסכנות בשימוש באנרגיה גרעינית.