

קרינה וחומר

הקדמה לקרינה וחומר

עקרונות כלליים

הנושא "קרינה וחומר" הוא נושא החובה השלישי בתכנית הלימודים המוצגת כאן לצד הנושאים "מכניקה" ו"אלקטרומגנטיות". חלוקת "קרינה וחומר" לנושאי-משנה שונה מעט מהחלוקה המסורתית שהיא: "אופטיקה גיאומטרית", "תורת הגלים", "אופטיקה פיזיקלית" ו"פיזיקה מודרנית"; מטרת החלוקה החדשה היא להקל על הקישור והגישור בין תת-הנושאים השונים, כגון בין אופטיקה גיאומטרית לאופטיקה פיזיקלית ובין אופטיקה פיזיקלית לפיזיקה מודרנית.

בתכנית הלימודים המוצגת כאן, הנושא "קרינה וחומר" מחולק מבחינה תוכנית לשני נושאי-משנה:

א. התפתחות חקר האור (פרקים 1 – 3).

ב. התפתחות חקר מבנה החומר (פרקים 4 – 7).

בכל אחד משני נושאי-המשנה הללו מומלץ לפתוח בהצגת תופעות בסיסיות: בהקשר לאור – בתופעות כגון החזרה ושבירה; בהקשר למבנה החומר – בתיאור של גילוי האלקטרון והספקטרום הניסויי של אטום המימן.

לאחר הצגת התופעות הבסיסיות, בכל אחד משני נושאי-המשנה, מומלץ לבנות מודל. המושג "מודל" (או "תאוריה") הוא מושג מרכזי במדע, ומרכזיותו מודגשת בלימוד שני תת-הנושאים של "קרינה וחומר". המודל הראשוני עבור האור הוא המודל החלקיקי שפותח על-ידי ניוטון. המודל הראשוני לגבי מבנה החומר הוא מודל "האבטיח וגרעיני האבטיח" (או "עוגת הצימוקים") שפותח על-ידי תומסון. לאחר שבונים את המודל הראשוני מנסים, להסביר בעזרתו את התופעות הבסיסיות שנדונו קודם ולנבא תופעות חדשות. כאשר יש התאמה בין ניבוי המודל לבין תוצאות הניסויים – מצטרפות למודל עובדות חדשות; כאשר אין התאמה – שוקלים לערוך שינויים במודל, לתקנו, או אף לבנות מודל חדש.

לצד הצגה זאת, המדגישה את ההיבט המדעי של הטיפול בנושא "קרינה וחומר", חשוב להציג גם את הרלוונטיות של הנושא לחיי היום-יום הן בתופעות טבע והן ביישומים טכנולוגיים.

בבניית תוכני הלימוד יש לזכור כי אחת המטרות המרכזיות של הנושא "קרינה וחומר" היא להביא את התלמיד להיכרות, לפחות בסיסית, עם מושגים ראשוניים של תורת הקוונטים – הן בהקשר לאור, והן בהקשר למבנה החומר. נביא לדוגמה את אחד המאפיינים המובהקים של הפיזיקה

הקוונטית מראשיתה - מושג הדואליות "חלקיק-גל", שתחילתו בדואליות של האור (פלאנק 1900; איינשטיין, 1905) והמשכו בדואליות של החלקיקים היחומריים (דה-ברויי, 1924). כדי להבין את תופעת הדואליות יש להכיר את ההתנהגות הגלית ואת המושגים הקשורים בה (סופרפוזיציה, התאבכות בונה והורסת וכדומה), והדבר מחייב מידה של עיסוק מקדים בתופעות גליות – במיוחד באור.

התפתחות חקר האור

אופטיקה גאומטרית

דיון בתורה הגלית של האור אי-אפשר לנתק לחלוטין מן המודל של האופטיקה הגאומטרית, ומכאן שיחידה העוסקת ב"קרינה וחומר" אמורה לכלול גם מושגי יסוד באופטיקה גאומטרית. גם במסגרת המצומצמת הנדרשת, ראוי לשים לב להיבטים חשובים בהוראת האופטיקה הגאומטרית. הנושאים שידונו הם: אפיון האור באמצעות קרניים, תופעות של החזרה ושבירה, עדשות דקות ויצירת דמויות. אמצעי ההמחשה יהיו ניסויי מעבדה, שימוש בסרטונים במסגרת מודל הקרניים ופתרון בעיות תוך שימוש בנוסחאות (לא לינאריות). ידוע לנו כי מודל הקרניים, שהוא הכלי הדידקטי המרכזי, סובל מכשלים בהבנה, והנושא יידון במסגרת ההערות הדידקטיות. נציין כי שימוש בהדמיות מחשב עשוי לעזור באופן חלקי, והתלמיד אינו נדרש להתמחות בפתרון בעיות מורכבות.

מודל הגלים המכניים ומודל הגלים האלקטרומגנטיים

לימודי הגלים אמורים לכוון את התלמיד להכרת הגלים האלקטרומגנטיים. ברור שלא נוכל לגשת ישירות לגלים אלקטרומגנטיים, ולכן יש להתחיל את לימוד הנושא בדוגמה פשוטה של גל מכני: הפרעה רוחבית במיתר חד-ממדי. במסגרת זו אפשר לדבר על מהירות הגל, תדירות, אורך-גל, החזרה וסופרפוזיציה. אין מקום במסגרת הזאת לטפל גם בגלי קול. אלה נמצאים כיום בסטטוס של "הרחבה והעמקה", וכל המעוניין, ראוי שיעסוק גם בהם. (העיסוק בגלי קול מעניין כשלעצמו ועשוי לבסס את הבנת מושג הגל.)

בדרך כלל, הדיון הראשוני בגלים בשני ממדים יעסוק בהתפשטות של הפרעה על פני מים ויכלול הצגת התאבכות בשני ממדים והצגת עקיפה. לאחר התוועדות לאופי הגלי בממד אחד ובשני ממדים, תבחן תופעת התפשטות האור, ויסתבר כי יש בה היבטים גליים. בסיום הוראת הפרק יש להבהיר את המודל האלקטרומגנטי של האור ולהכיר את התחומים השונים של הספקטרום האלקטרומגנטי.

הדיון בשני המודלים (המודל הגאומטרי והמודל הפיזיקלי) מחייב התייחסות לאופי האור ולשאלות הבאות: האם שני המודלים חיים בשלום? האם האחד הוא מקרה גבולי של השני? באיזה מובן? האם

האופטיקה הגאומטרית מייצגת מודל חלקיקי? בסיום לימודי הגלים ראוי לחדד בפני התלמיד את הפער המהותי בין ההתנהגות החלקיקית להתנהגות הגלית: מה קורה כאשר שני חלקיקים מגיעים לאתר משותף, ובמה זה שונה מן המתרחש כאשר שני גלים מגיעים לאותו מקום? במה נחלקו ניוטון והויגנס? מה הביא בתחילת המאה ה-19 להכרעה לטובת האופי הגלי של האור? מה מקומו של האור ביחס לכלל הקרינה האלקטרומגנטית? את הוראת חקר האור יש לסיים במודל הדואלי של האור.

התפתחות חקר החומר

לאחר לימוד ההתנהגות הגלית ותכונות האור בפרט והקרינה האלקטרומגנטית בכלל, אפשר לגשת אל הוראת הפיזיקה של המאה ה-20. הדבר ייעשה על פי השלבים האלה:

(א) האופי המקוונטט והדואלי של האור (האפקט הפוטואלקטרי, אפקט קומפטון ויצירת קרינת X; המודל הדואלי של הקרינה האלקטרומגנטית).

(ב) הסבר הספקטרום הבדיד של אטום המימן על-ידי בוהר, ומשמעות הדבר באשר למבנה רמות האנרגיה של האלקטרון (מגילוי האלקטרון ומודל רתרפורד ועד ניסוי פרנק הרץ).

(ג) דואליות החומר: גלי דה-ברויי, הפירוש ההסתברותי לגל, ניסויי התאבכות בחלקיקים בודדים, עקרון אי-הוודאות.

(ד) פיזיקה גרעינית ומבוא לחלקיקים יסודיים: מרכיבי הגרעין, הכוח החזק, התפרקות רדיואקטיביות ותהליכים גרעיניים אחרים, אנרגיית קשר גרעינית ותהליכי ביקוע והיתוך גרעיני. הגדרת חלקיק יסודי, ספין, פרמיונים ובוזונים, אנטי חלקיקים, מודל הקוורקים.

הדיון בפיזיקה המודרנית לא יכול בעיות שמצריכות טכניקה חישובית מתקדמת. העקרונות שיודגשו הם אלה: התפתחות הפיזיקה הקוונטית בתחילת המאה ה-20 בהקשר לגילוי האופי הדואלי של האור ושל חלקיקי החומר; בעיית קווי הספקטרום הבדיד והקשר שלה למבנה האטום; המגבלות שהפיזיקה הקוונטית מטילה על הידע הפיזיקלי כפי שהן מתבטאות באופי הסטטיסטי ובעקרון אי-הוודאות.

הוראה בכיתה י

בכיתה י' אפשר ללמד את רובו של תת-הנושא הראשון – התפתחות חקר האור ואת חלקו של תת הנושא השני – חקר מבנה החומר, במסגרת נושאי היסוד בפיזיקה. יהיה צורך להשלים בכיתה י"ב את הוראת ההיבטים המורכבים יותר מבחינה מושגית ומבחינה מתמטית, כולל מושגים שנסמכים

על לימודי המכניקה והחשמל. בתכנית הלימודים מוקצים לנושאי היסוד כ- 60 שעות, כפי שמפורט במבוא הכללי. אולם, קצב הלימוד בכיתה י' נמוך מאשר בכיתות י"א ו-י"ב ואף תלוי במידת ההטרוגניות של הכיתה. לכן, מן הסתם, יהיה צורך בהשלמות מתאימות בכיתה י"ב.

אמצעים דידקטיים

בניגוד ללימודי המכניקה והחשמל, הטיפול המתמטי ברוב הנושאים הקשורים לגלים ולתורת הקוונטים הוא מורכב מדי עבור תלמידי בית הספר התיכון. לכן האמצעים הדידקטיים העיקריים להוראת נושאים אלה, במיוחד בכיתה י', הם סרטונים, ניסויים והדמיות מחשב (בנושאים שבהם אי-אפשר לערוך ניסויים). יש להרבות בסרטונים כאשר עוסקים בייצוג מהלך האור על-ידי קרניים, בעקרון הסופרפוזיציה ובתופעות של עקיפה והתאבכות.

רלוונטיות לחיי היום-יום

הרלוונטיות של הנושא "קרינה וחומר" לחיי היום-יום תוצג באמצעות מגוון תופעות טבע ויישומים טכנולוגיים:

תופעות טבע: צל, יום ולילה, עונות השנה, מופעי הירח, ליקויי מאורות, השתקפות במראה, תופעת "העיפרון השבור" (עיפרון הטבול חלקו במים, נראה שבור), תופעת "הכביש הרטוב" בקיץ (פטה-מורגנה), אפקט החממה באטמוספירה, "החור באוזון", גוון השמים במשך היום, גוון השמש בעת השקיעה והזריחה.

יישומים טכנולוגיים: סיבים אופטיים, חממות חקלאיות, יצירת דמות על-ידי עדשה, נורות פלורסצנט, שלט רחוק של מכשירים כגון טלוויזיה. יישומים בפיזיקה מודרנית: הלייזר, קרינת רנטגן ושימושיה ברפואה ובתעשייה, כורים גרעיניים, שימוש באיזוטופים רדיואקטיביים לתארוך ולאבחון.

חלוקה לפרקים ושעות מומלצות

שעות מומלצות	שם הפרק	מס' הפרק
19	תופעות יסודיות של האור, ייצוג מהלך האור באמצעות קרניים	1
6	המושג "מודל", תפקידיו, המודל החלקיקי של האור	2
28	גלים מכניים ואלקטרומגנטיים	3
8	מבוא לתורת הקוונטים - המודל הדואלי של האור	4
17	מבנה האטום	5
7	מבוא לתורת הקוונטים - דואליות החומר	6
14	הגרעין ומבוא לחלקיקים יסודיים	7
99	סה"כ	