



“תכנית רוטשילד-ויצמן למצוינות בהוראת המדעים”  
במימונה של קרן קיסריה אדמונד בנימין דה רוטשילד

## חקירת ספקטרום פליטה וספקטרום העברה

עבודת גמר ללימודי תואר שני בתכנית רוטשילד ויצמן

ענת אש ועדי נגה

מנחים : דוקטורנטית קריסטין סטולברג  
ד"ר דיאנה לאופר

חשוון התשע"ו - נובמבר 2015

## תודות

לדוקטורנטית קריסטין סטולברג (ולדוקטורנט דימה מיקיטצ'וק) ממעבדת הפלזמה במכון ויצמן-  
על חוויה מחכימה במעבדה בקיץ, על הסבלנות הרבה, הנכונות, הזמינות ומאור הפנים, על הסדר  
והארגון. למדנו ממך המון!

לד"ר דיאנה לאופר- מנחה פדגוגית מהמחלקה להוראת המדעים. תודה על הסובלנות שהפגנת  
לרעיונות שלנו, על המקצועיות והידע הרב בו העשרת אותנו בנושא.

לד"ר אמנון חזן- מנחה ומלווה פדגוגי מהמחלקה להוראת המדעים- תודה על הליווי, הפרגון  
והעידוד וגם הדחיפה כשצריך. על הזמינות והמענה לשאלות הרבות שעלו לאורך הדרך.

תודה למשפחותינו היקרות על התמיכה, ההתחשבות והפרגון. שלנו- שלכם הוא.

## תוכן עניינים

5	מבוא
6	פרק 1- רקע תיאורטי
6	1.1 אטום מימן
11	1.2 סריג עקיפה
12	1.3 ספקטרוסקופיה
12	1.4 ספקטרום פליטה וספקטרום בליעה
15	פרק 2- תיאור הניסויים
15	2.1 תיאור מערכת הניסוי
17	2.2 כיוול המערכת
18	2.3 ניסוי 1- חקירת ספקטרום פליטה של מקורות אור שונים
22	2.4 ניסוי 2- חקירת מקדם הנחתה של אור העובר דרך נוזלים שונים
27	פרק 3- "רואים את האורות"
27	מערך שיעורים בנושא ספקטרוסקופיה
27	3.1 מדריך למורה
30	3.2 הוראות לבנית ספקטרוסקופ
36	3.3 נורת להט
40	3.4 נורות פריקה
46	3.5 נורת פלוורסנט
50	3.6 נורת LED (Light-Emitting Diode , דיודה פולטת אור)
55	3.7 ספקטרוסקופיה
59	3.8 דף תשובות
68	סיכום
69	ביבליוגרפיה

## רשימת איורים

- איור 1- יסודות ומולקולות מיוצגות כסמלים מעגליים לפי תורתו של דלטון ..... 6
- איור 2- מודל תומפסון ..... 7
- איור 3- ניסוי רתרפורד ..... 8
- איור 4- סריג עקיפה ..... 12
- איור 5- ספקטרום הפליטה של אטום המימן ..... 13
- איור 6- ספקטרום הפליטה של אטום הברזל ..... 13
- איור 7- השוואה בין הספקטרה השונים ..... 14
- איור 8- מערכת הניסוי במבט מלמעלה ..... 15
- איור 9- מצלמת CCD ..... 16
- איור 10- הספקטרומטר במבט מלמעלה ..... 16
- איור 11- ספקטרום הפליטה של נורת לד אדומה כפי שהתקבל במעבדה וכפי שמוצג בספרות ..... 18
- איור 12- ספקטרום הפליטה של נורת לד לבנה כפי שהתקבל במעבדה וכפי שמוצג בספרות ..... 19
- איור 13- ספקטרום הפליטה של נורת פלורוסנט כפי שהתקבל במעבדה וכפי שמוצג בספרות ..... 19
- איור 14- ספקטרום הפליטה של נורת להט כפי שהתקבל במעבדה וכפי שמוצג בספרות ..... 20
- איור 15- ספקטרום פליטה של גוף שחור ..... 21
- איור 16- מעבר אור דרך מים מזוקקים, ספקטרום פליטה ומקדם הנחתה ..... 23
- איור 17 - ספקטרום הבליעה במים כפי שמוצג בספרות ..... 23
- איור 18- מעבר אור דרך יין אדום, ספקטרום פליטה ומקדם הנחתה ..... 24
- איור 19- מעבר אור דרך חלב, ספקטרום פליטה ומקדם הנחתה ..... 25
- איור 20- מעבר אור דרך קפה, ספקטרום פליטה ומקדם הנחתה ..... 26
- איור 21- תומס אדיסון, ממציא נורת הלהט ..... 36
- איור 22- דיאגרמת רמות אנרגיה של אטום הכספית ..... 45
- איור 23- ספקטרום הפליטה של נורת פלורוסנט ..... 47
- איור 24- הספקטרום האלקטרומגנטי ..... 47
- איור 25 - זוכי פרס נובל 2014. מימין- אקסאקי, אמאנו ונקמורה ..... 52
- איור 26- הספקטרום האלקטרומגנטי ..... 55

## מבוא

ספקטרוסקופיה הוא תחום מחקר שבו נמדד ספקטרום של רמות אנרגיה או ספקטרום של תדרי קרינה אלקטרומגנטית, כמו למשל תדרי אור. המכשיר המשמש לספקטרוסקופיה קרוי ספקטרומטר והוא מאפשר את הפרדת הקרינה האלקטרומגנטית לאורכי הגל מהם היא מורכבת, באמצעים שונים כגון- מנסרה, סריג עקיפה או אלמנט הולוגרפי.

לפי מודל בוהר, אטום המימן מורכב מפרוטונים וניוטרונים המרכיבים את הגרעין ומאלקטרון הנע בתנועה מעגלית מסביב לגרעין. האלקטרון יכול לנוע אך ורק במסלולים מסוימים סביב לגרעין, כאשר לכל מסלול אנרגיה אופיינית.

מעבר אלקטרון ממסלול בעל אנרגיה נמוכה למסלול לאנרגיה גבוהה יותר נקרא עירור והוא מתאפשר בעקבות מתן אנרגיה נוספת מתאימה, על ידי התנגשות עם חלקיק אחר או בליעת פוטון. האלקטרון באטום המעורר יחזור תוך זמן קצר לרמת האנרגיה הנמוכה ביותר, תוך פליטת האנרגיה העודפת בצורת פוטון.

ספקטרום פליטה מתקבל כתוצאה מעירור אטומי גז מסוים. כאשר האטומים יחזרו למצב היסוד שלהם, הם יפלטו קרינה. כאשר מעבירים את הקרינה הנפלטת דרך ספקטרומטר מקבלים ספקטרום בדיד המורכב מאורכי הגל היוצרים את הקרינה.

ספקטרום בליעה מתקבל מהעברת אור בעל רצף של אורכי גל דרך גז מסוים. פוטונים בעלי אורכי גל הגורמים לעירור הגז, יבלעו והקרינה שתתקבל לאחר העברה בספקטרומטר, תהיה מורכבת מספקטרום רציף עם קווים שחורים המתאימים לאורכי הגל שנבלעו.

לכל יסוד כימי יש ספקטרום פליטה ובליעה המאפיין אותו ולכן ספקטרוסקופיה יכולה לשמש כדי לזהות מרכיבים כאשר הרכב חומר כלשהו אינו ידוע.

במעבדה התנסו בעבודה עם ספקטרומטר, כולו, ביצוע ניסויים בעזרתו וחקירת הספקטרום המתקבל. בחרנו להתמקד בשני ניסויים שביצענו- באחד מדדנו ספקטרום פליטה של נורות שונות והשוונו לספרות. בשני מדדנו ספקטרום העברה של קרינה הנפלטת מנורת להט ועוברת דרך תא מלא בנוזלים שונים ומצאנו את מקדם ההעברה של כל נוזל.

בעקבות העבודה במעבדה יצרנו מערכי שיעור בנושא ספקטרוסקופיה המתאימים לתוכנית הלימודים בפיזיקה. במערכי השיעור שמנו דגש על הצד הוויזואלי-חוייתי- הכנת ספקטרוסקופ ביתי, צפייה בספקטרום של מקורות אור שונים והכרת ההבדל בין ספקטרום רציף לבדיד. ועל הצד היישומי-טכנולוגי- לימוד על נורות שונות המשמשות אותנו בחיי היומיום, תוך התייחסות להיסטוריה, למבנה הנורות ואופן פעולתן וליישומים טכנולוגיים המתבססים על עקרונות דומים.

כמו כן, התייחסנו גם ליישומים טכנולוגיים עכשוויים של ספקטרוסקופיה. אנו מרגישות כי לימוד הנושא בהיקף כזה, יאפשר לתלמידים הבנה רחבה ועמוקה יותר של נושא הספקטרוסקופיה ויותר בהם חוויה משמעותית.

## פרק 1- רקע תיאורטי

### 1.1 אטום מימן

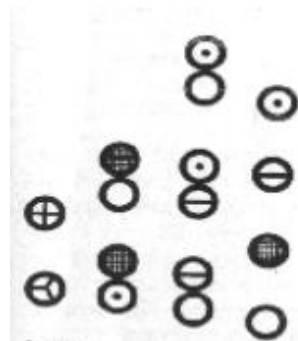
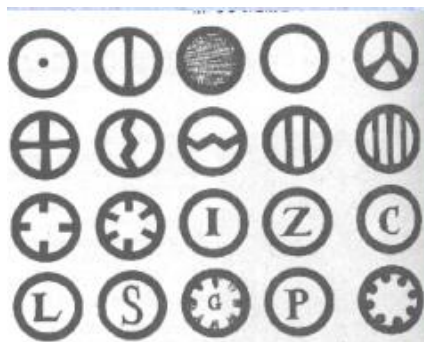
אחת השאלות המרכזיות שהעסיקו את הפילוסופים היוונים הייתה השאלה: "ממה מורכב העולם?" חכמי יוון האמינו שהחומרים מהם בנוי העולם עשויים מצרופים שונים של ארבעה יסודות בסיסיים: אדמה, אוויר, מים ואש. תיאוריה זו, שקודמה על ידי אריסטו (במאה ה-4 לפני הספירה), כונתה תיאורית ארבע היסודות והייתה ליסוד של האלכימיה בימי הביניים. בניגוד לרוב חכמי יוון בעת העתיקה, בשנת 370 לפני הספירה הציג הפילוסוף היווני דמוקריטוס את תיאורית האטומים שלו. דמוקריטוס טען שהחומרים בטבע בנויים מחלקיקים זעירים, אותם הוא כינה "אטומים", שלהם זיזים ושקעים המסוגלים להתחבר זה לזה. מקורה של המילה "אטום" הוא מיוונית, ופירושה "שאינו ניתן לחלוקה". במשך אלפיים שנה בקירוב, התורה האטומית של דמוקריטוס לא זכתה להכרה נרחבת על ידי הפילוסופים היוונים שהעדיפו על פניה את תיאורית "ארבעת היסודות".

#### 1.1.1 ג'ון דלטון - (1766-1844) - ראשית התיאוריה האטומית

ג'ון דלטון היה כימאי ופיזיקאי אנגלי שפיתח בראשית המאה ה-19 את התיאוריה האטומית שלו. עיקרי ההנחות של התיאוריה של דלטון הן-

1. החומר בנוי מאטומים שהינם בלתי ניתנים לחלוקה.
2. כל יסוד בנוי מאטומים זהים ואופייניים. מגוון האטומים השונים זהה למגוון היסודות. האטומים של יסוד מסוים זהים לחלוטין במשקלם ובצורתם.
3. אטומים אינם ניתנים לשינוי.
4. כשיסודות שונים מתרכבים תוך יצירת תרכובת, החלק הקטן ביותר השומר על תכונות התרכובת – המולקולה – בנוי ממספר מסוים קבוע של אטומים מכל יסוד.
5. בתגובות כימיות אין נוצרים אטומים ואין הם נהרסים – הם רק מסתדרים באופנים אחרים.

דלטון גם ניתח תגובות כימיות שונות והסביר אותן באמצעות מושגים קרובים למדי למושגים המודרניים של אטומים ומולקולות, יסודות ותרכובות. בספרו "שיטה חדשה במדע הכימיה", שפורסם בשנת 1808, מציג דלטון את עיקרי התורה האטומית באופן דומה למה שמקובל היום. על כן הוא נחשב לאבי תורת האטומים המודרנית. דלטון הציע לתאר יסודות בתור סמלים מעגליים, שמציינים את האטומים המרכיבים אותם, כך שתרכובות תיוצגנה כצבירים קטנים של סמלים אלה.



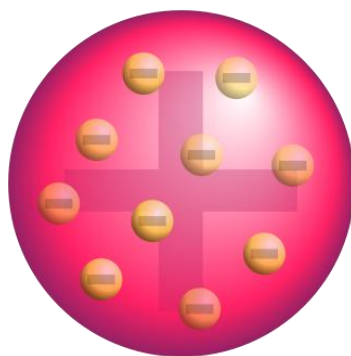
## 1.1.2 ג'. ג'. תומפסון (1856-1940) - גילוי האלקטרון ומודל עוגת הצימוקים או פודינג

### השזיפים

עוד בתקופתו של דלטון הייתה ידועה תופעת המוליכות החשמלית ותנועתם של אלקטרונים בחומרים מוליכים. דלטון דימה את האטומים לכדורים שלמים, קשיחים ובלתי-ניתנים לחלוקה ולכן מודל האטום שלו נכשל במתן הסבר לתופעת המוליכות החשמלית.

בנוסף, בשנת 1897 גילה תומפסון חלקיק קטן בעל מטען חשמלי שנקרא מאוחר יותר אלקטרון. לאחר מציאת האלקטרון הבין תומפסון כי האטום אינו חלקיק יסודי ואי אפשר היה להמשיך ולטעון כי החומר בנוי מאטומים שאינם ניתנים לחלוקה. תומפסון הציע מודל חדש לאטום המכונה "עוגת השזיפים".

המודל מדמה את האטום לעוגת צימוקים - מטען חשמלי חיובי מרוח בצורה הומוגנית על פני עיקר האטום, שהוא כדור צפיד (כמו במודל של ג'ון דלטון), ועל פני כדור חיובי זה משובצים האלקטרונים, שהם חלקיקי מטען שלילי נקודתיים. האלקטרונים משובצים כך שהם נמצאים במצב שיווי משקל מבחינת הכוחות החשמליים הפועלים עליהם - כמו צימוקים בעוגה. מודל זה התיישב בהצלחה עם העובדה שהחומרים הנם ניטרלים מבחינה חשמלית.



איור 2- מודל תומפסון

## 1.1.3 ארנסט רתרפורד (1871-1937) - ניסוי רתרפורד ומודל פלנטרי

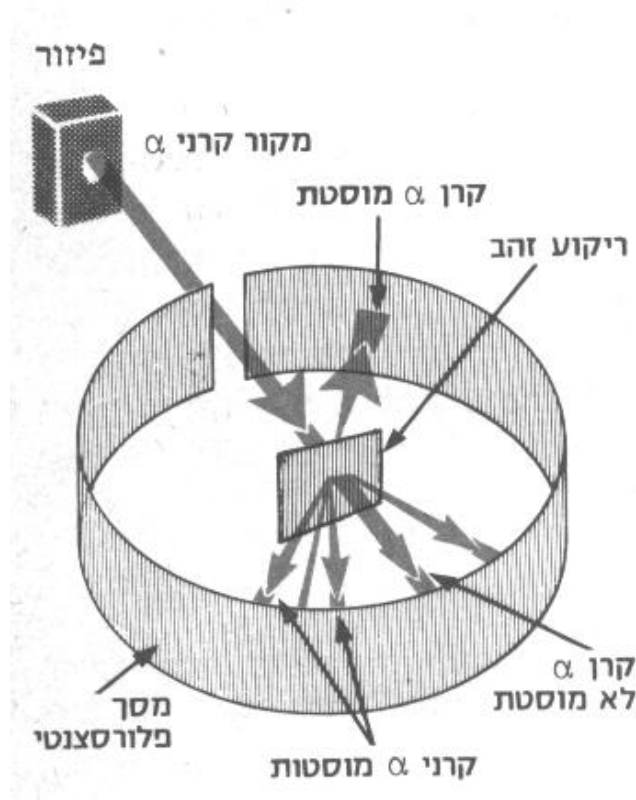
מודל תומפסון נתקל בקשיים. למשל, הוא לא הצליח להסביר את ספקטרום האור שפולטים יסודות שונים. בתחילת המאה העשרים, הוצעו מודלים נוספים של האטום, שאף הם לא זכו להצלחה רבה. המכנה המשותף לכולם היה היעדר ביסוס ניסויי של ממש.

בשנת 1910 ערך הפיזיקאי הבריטי ארנסט רתרפורד את הניסוי המפורסם הידוע בשם "ניסוי רתרפורד". בשנה זו חקרו במעבדתו של רתרפורד, באוניברסיטת מנצ'סטר, מה קורה לחלקיקי אלפא (גרעיני הליום) הפוגעים בחומר.

במהלך הניסוי חלקיקי האלפא היוצאים מהמקור (מקור רדיואקטיבי בתוך קופסת עופרת) עוברים דרך סדק צר בקופסה ופוגעים בזווית ישרה בעלה זהב דקיק. לאחר המעבר דרך העלה הם מגיעים לגלאי, שהוא לוח פלורוסנטי הצמוד למיקרוסקופ. כל המערך הזה נמצא בתא שבו שורר ריק.

על פי מודל האטום של תומפסון, צפיפותו של החומר היא אחידה בקירוב בכל נפחו לכן ההנחה הייתה שחלקיקי האלפא הכבדים והמהירים המפציצים את עלה הזהב יעברו דרכו והוא לא יוכל לגרום לסטייה ניכרת במסלולם.

אכן, בניסוי נצפה כי אלומת חלקיקי אלפא פגעה בגיליון הדק של הזהב, חדרה ועברה דרכו. כתוצאה מכך, חלק מן החלקיקים סטו ממסלולם הישר. תלמידיו של רתרפורד מדדו את זוויות הסטייה של החלקיקים בעוברם דרך עלה דק של זהב. רתרפורד הורה לעוזריו לבדוק את הפיזור של חלקיקי האלפא רק עבור זוויות קטנות. אולם, יום אחד, הציע רתרפורד לבדוק כמה מחלקיקי האלפא מתפזרים בזוויות גדולות. התוצאה הייתה מפתיעה. התברר כי מספר החלקיקים המוסחים בזווית הגדולה מ- $10^\circ$  היה הרבה יותר מהצפוי ובנוסף, אחד מכל 8,000 חלקיקים בערך הוחזר מן המטרה, כלומר פוזר בזווית גדולה מ- $90^\circ$ . רתרפורד כתב על כך: "זה היה המאורע המדהים ביותר שקרה לי בחיי. היה זה כאילו ירית פגז של 15 אינץ' לעבר דף נייר דק, והוא נרתע לאחור ופגע בדף".



איור 3- ניסוי רתרפורד

את התוצאות המפתיעות של הניסוי ניתן היה להסביר רק בעזרת ההנחה שצפיפותו של החומר אינה אחידה. הוא צפוף מאוד בנקודות מסוימות ודליל מאוד בנקודות אחרות.

תוצאות ניסוי הביאו רתרפורד לפתח מודל חדש למבנה האטום.

לפי מודל האטום של רתרפורד, רוב המסה של האטום מרוכזת בגרעין, שקוטרו זעיר לעומת קוטר האטום. הגרעין נושא מטען חיובי. האלקטרונים הקלים חגים סביב הגרעין, כשם שכוכבי הלכת חגים סביב השמש. בין הגרעין החיובי לבין האלקטרונים השליליים שורר כוח משיכה חשמלי המחזיק את האלקטרונים במסלוליהם. המסלולים של האלקטרונים החיצוניים הם הקובעים את קוטר האטום. המודל של רתרפורד כונה המודל הגרעיני או המודל הפלנטרי. כל השינויים שהוכנסו במודל זה במרוצת השנים, עוסקים רק באופן תנועת האלקטרונים סביב הגרעין. הנחות

היסוד של מודל רתרפורד, אודות גרעין חיובי קטן שבו מרוכזת רוב מסת האטום ואלקטרונים שליליים החגים סביב הגרעין וקובעים את קוטר האטום ואת התכונות הכימיות שלו, שרירות עד היום.

#### 1.1.4 נילס בוהר (1885-1962) - מודל בוהר

מודל האטום של רתרפורד עורר מספר קשיים. הבעיה הגדולה מכולן היתה שלפי מודל רתרפורד האטום אינו יציב, בגלל העיקרון שקובע שמטענים המואצים (דוגמת האלקטרונים המסתובבים) פולטים קרינה אלקטרומגנטית ומאבדים אנרגיה על ידי כך. אם המודל הפלנטרי היה נכון, היה על האלקטרון להסתובב במסלול שרדיוסו הולך וקטן עד להתנגשות עם הגרעין. חישובים מראים שהתנגשות זו הייתה צריכה לקרות תוך חלקיקי שנייה, אך אנו עדים בכל זאת לכך שהחומר אינו קורס אל תוך עצמו.

בעיה נוספת הייתה שהמודל הפלנטרי לא הצליח להסביר את ספקטרום הפליטה של גז. כלומר, הוא לא הסביר מדוע האטומים פולטים קרינה בתדרים מסוימים בלבד ולא בכל התדרים. עוד בעיה היא העובדה כי המודל הפלנטרי אינו מטיל מגבלה על רדיוס המסלול של האלקטרון ולמרות זאת לכל אטומי המימן רדיוס זהה. לא ברור מדוע התנגשויות בין אטומים אינם גורמות לאלקטרונים של אטומים שונים לנוע ברדיוסים שונים.

בשנת 1913 הציע פיסיקאי דני בשם נילס בוהר תיקונים למודל הפלנטרי. כמו במודל הפלנטרי, האטום מתואר כגרעין הטעון מטען חשמלי חיובי, שמסביבו מסתובבים אלקטרונים במסלולים סגורים. התוספת של בוהר הייתה כי לא כל מסלול אפשרי, אלא רק מסלולים שבהם התנע הזוויתי של האלקטרונים מהווה כפולה שלמה של קבוע פלאנק המצומצם (המסומן לרוב ב- $\hbar$ ). מעבר האלקטרון בין מסלול למסלול (כלומר בין רמות אנרגיה) הוא מיידי ומלווה בפליטה או בבליעה של פוטון – מנה (קוונטה) של קרינה אלקטרומגנטית.

#### עקרונות היסוד של המודל:

1. האלקטרונים נעים בתנועה מעגלית סביב הגרעין. הם נתונים למשיכה החשמלית של הגרעין (לפי חוק קולון) ונמצאים בשיווי משקל בהתאם לחוקי המכניקה הקלאסית.
2. האלקטרונים אינם יכולים לנוע בכל מסלול מעגלי סביב הגרעין, אלא רק באלו בהם התנע הזוויתי של האלקטרונים הוא כפולה שלמה של קבוע פלאנק המצומצם (לכל תנע זוויתי נתון יש מסלול יחיד שמקיים שיווי משקל בין הכוח הצנטריפוגלי לכוח קולון):

$$L = n \cdot \hbar = n \cdot \frac{h}{2\pi}$$

3. על אף שהאלקטרון מואץ בתנועה סיבובית, הוא איננו פולט קרינה (בניגוד לתחזית של תורת האלקטרומגנטיות של מקסוול, לפיה מטען מואץ פולט קרינה אלקטרומגנטית)
4. האלקטרון יכול לעבור בין מסלולים מותרים. בתהליך המעבר נקלט או נפלט קוונטום של קרינה אלקטרומגנטית - פוטון. הקרינה נקלטת עבור מעבר למסלול בו האנרגיה גדולה מהאנרגיה

במסלול הנוכחי, ונפלטת עבור מעבר למסלול בו האנרגיה קטנה יותר. תדירות הקרינה  $\nu$ , נקבעת על פי הפרש האנרגיה בין המסלולים השונים:

$$\nu = \frac{|E_i - E_j|}{h}$$

המודל מציג באופן פשטני את אטום המימן. ככל שהאטומים כבדים יותר, (כלומר בעלי מספר פרוטונים, נויטרונים ואלקטרונים רב יותר), הקירובים שערך בוהר הולכים ונעשים בעייתיים יותר ויותר.

הצלחת המודל נבעה בעיקר מהסברתו את נוסחת רידברג-  $\frac{1}{\lambda} = \frac{m_e q_e^4}{8ch^3 \epsilon_0^2} \left( \frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$  נוסחה למציאת הספקטרום של אטום מימן שהציע יוהנס רידברג, מדען שבדי, ב-1890. למרות שהנוסחה אוששה זה מכבר על ידי ניסוי, היא לא הוסברה תיאורטית עד לפרסום מודל האטום של בוהר. כמו כן הסביר המודל את יציבות אטום המימן לפי מכניקת הקוונטים.

### 1.1.5 מודל האטום במכניקת הקוונטים

מודל בוהר היה סלט מוזר של מכניקה קלאסית, רעיונות דה-ברויי (de Brogli) ומכניקת הקוונטים (שכמובן עוד לא הייתה קיימת). המודל הצליח להסביר את ספקטרום הפליטה והבליעה של אטום המימן. באותה התקופה (שנת 1913) זה היה הישג ענק. לפתע הגיעה ההבנה שבטבע לא רק לאנרגיה של האור יש אופי בדיד אלא גם לרמות האנרגיה באטום ערכים דיסקרטיים. למרות ההצלחה, היו דברים בעייתיים במודל של בוהר. מצד אחד המודל מתייחס לאלקטרון כחלקיק שנע בתנועה מעגלית במסלולים מותרים ומצד אחר ההסבר למסלולים המותרים היה באמצעות גלי דה-ברויי. לא היה ברור אם אלקטרונים הם חלקיקים קלאסיים או גלים. בנוסף, המודל של בוהר לא תאם את המתרחש באטומים של יסודות מרובי אלקטרונים. הוא לא תאם אפילו לאטום הליום (שהיה בעל שני אלקטרונים בלבד). הבעיה העקרונית במודל שלו הייתה, כאמור, הסתירה העצמית כתוצאה משילוב של שתי תורות שונות לגמרי. היה צורך במודל חדש ועקבי, שיתבסס כולו על רעיונות קוונטיים.

כדי לפתח את מודל אטום מימן לפי מכניקת הקוונטים יש להשתמש בחוקי מכניקת הקוונטים. במכניקת הקוונטים כדי לפתור בעיה כלשהי יש לפתור את משוואת שרדינגר עבור המקרה הנדון (בדומה למשוות ניוטון במכניקה הקלאסית) ולמצוא את פונקציית הגל המתאימה. ניתן לפתור עבור אטום המימן (אלקטרון+פרוטון) את משוואת שרדינגר עבור שני גופים עם פוטנציאל מרכזי

נניח פרוטון שמסתו הרבה יותר גדולה ממסת האלקטרון ונמצא בראשית הצירים. פותרים את משוואת שרדינגר עבור אטום המימן -

$$E\psi = -\frac{\hbar^2}{2\mu} \nabla^2 \psi - \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r} \psi$$

כאשר  $L$  הוא אופרטור תנע זוויתי המקבל ערכים בדידים של  $\hbar^2 l(l+1)$ . כאשר פותרים את משוואת שרדינגר מוצאים כי האנרגיה מקבלת ערכים בדידים,

$$E_1 = -\frac{2\pi^2 k^2 e^4 m_e}{h^2} \quad \text{כאשר } n = 1, 2, 3, \dots$$

לאחר החלפת הקבועים במספרים נקבל:

כלומר, אנרגיית האלקטרון ברמה הכי נמוכה ( $n=1$ )  $E_n = \frac{-13.6 \text{ eV}}{n^2}$  באטום מימן היא  $-13.6 \text{ eV}$ , ברמה מעליה ( $n=2$ ) אנרגיית האלקטרון היא  $3.4 \text{ eV}$  - וכך הלאה. האנרגיה השלילית מבטאת את העובדה שהאלקטרון קשור לפרוטון.

אפשר לראות שהביטוי לאנרגיה המקוונטטת זהה לביטוי שמתקבל מהמודל של בוהר. ההבדל הוא שבמכניקת הקוונטים הביטוי יתקבל ממשוואת שרדינגר המתארת את תנועת החלקיקים בעולם המיקרוסקופי. לעומת זאת בוהר נאלץ להניח הנחות יסוד שונות בכדי להגיע לאותה התוצאה.

## 1.2 סריג עקיפה

מערכת סדקים צרים מקבילים זה לזה.

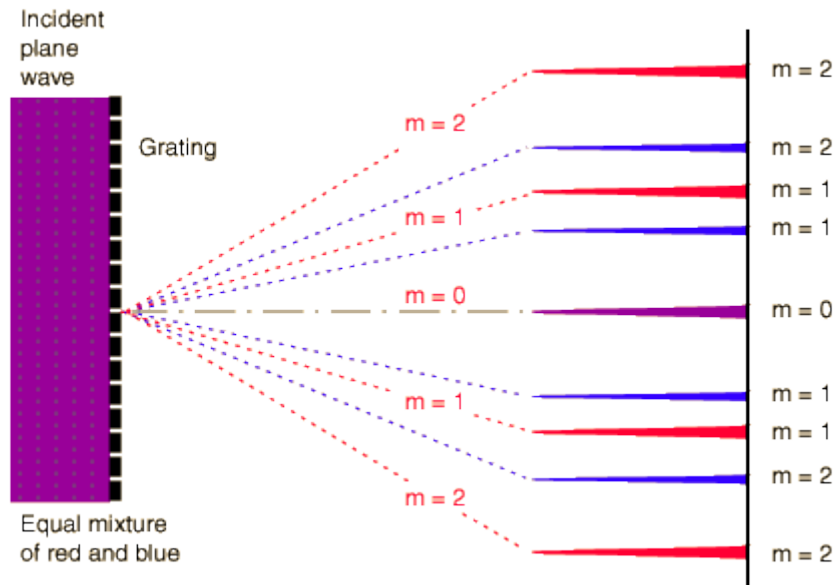
אלומת אור שעוברת דרך סריג עקיפה תיצור תבנית התאבכות המורכבת מהתאבכות בונה והתאבכות הורסת.

ישנם סוגים שונים של סריגים שיוצרים את תבנית ההתאבכות בעזרת העברה או בעזרת החזרה. קווי המקסימום של הסריג נוצרים באותו מקום בו הם היו נוצרים אם היה מדובר בשני סדקים בלבד, אך ההפרדה הזוויתית של קווים אלו טובה הרבה יותר מאשר במערכת בעלת שני סדקים מכיוון שנוצרות יותר אפשרויות להתאבכות הורסת בין הסדקים והתאבכות בונה נוצרת רק במיקום מסויים שמתאים להתאבכות בונה של כל הסדקים. מה שגורם לפסי מקסימום דקים ועוצמתיים.

$$d(\sin \theta_m + \sin \theta_i) = m\lambda$$

מיקום פסי המקסימום מוגדר בעזרת משוואת הסריג- כאשר  $d$  הוא מרווח הסריג,  $\lambda$  הוא אורך הגל הפוגע,  $\theta_i$  היא זווית הפגיעה בסריג ו-  $\theta_m$  היא זווית הפיזור מהסריג.

בכל  $M$  עבורו יש פתרון למשוואה תתקבל התאבכות בונה. לכן כאשר אלומת אור בעלת מספר תדרים פוגעת בסריג עקיפה, האור ישבר כך שלכל תדר יתקבל פס מקסימום במיקום אחר. כאמור, ההפרדה הזוויתית בין קווי המקסימום גדולה ולכן משמש סריג העקיפה להפרדת אור לתדרים שונים, בעיקר כאשר מדובר על קווים ספקטראליים הקשורים במעברים אטומיים.



איור 4- סריג עקיפה

### 1.3 ספקטרוסקופיה

ספקטרוסקופיה הוא תחום מחקר בו נמדדת עוצמת קרינה כתלות באורך הגל או בתדירות. המכשיר המשמש לספקטרוסקופיה נקרא ספקטרומטר והוא מאפשר את הפרדת הקרינה לאורכי הגל מהם היא מורכבת באמצעים שונים כגון- מנסרה, סריג עקיפה או אלמנט הולוגרפי. ניתן לחקור הן ספקטרום פליטה והן ספקטרום בליעה של חומר מסויים, ההחלטה איזה ספקטרום לחקור נקבעת בסוף לפי שיקולים פרקטיים.

טכניקות ספקטרוסקופיות יושמו בתחומים רבים במדע ובטכנולוגיה. הספקטרוסקופיה בגלי רדיו של גרעיני אטום השרויים בשדה מגנטי משמשת ברפואה להדמיית רקמות רכות, בשיטה הקרויה הדמיית תהודה מגנטית (MRI). בתחום האסטרונומיה משמשת הספקטרוסקופיה לזיהוי מאפיינים של כוכבים וגלקסיות כגון- ההרכב הכימי שלהם, הטמפרטורה, צפיפות, מסה, מרחק, עוצמת אור ותנועתם היחסית. ספקטרוסקופיה בגלי מיקרו היא כלי חשוב בחקר מבנים מולקולריים. שיטותיה מספקות מידע על המרחקים בין גרעיני האטומים במולקולה, על המבנה הגיאומטרי שלה ועל תכונות אחרות כמו מומנט דיפול חשמלי ומומנט מגנטי, התפלגות האלקטרונים במולקולה וחוזק הקשרים בין היסודות השונים.

### 1.4 ספקטרום פליטה וספקטרום בליעה

#### 1.4.1 ספקטרום פליטה

ספקטרום פליטה של יסוד כימי או תרכובת כימית הוא ספקטרום של תדירויות של קרינה אלקטרומגנטית הנפלטת כתוצאה מעירור אטום.

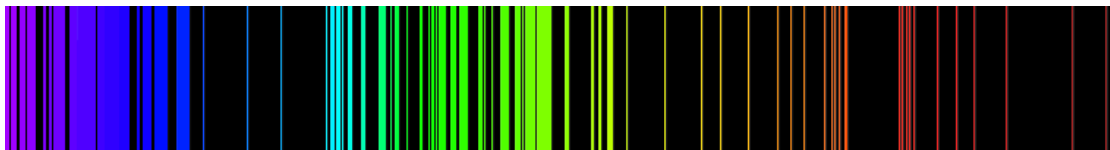
כאשר מעוררים את האלקטרון שבאטום, תוספת האנרגיה דוחפת אותו לאורביטלים אנרגיה גבוהים יותר. כאשר האלקטרון חוזר חזרה למצב היסוד אנרגיה נפלטת בצורת פוטון. אורך הגל (או התדירות) של הפוטון נקבעת מהשינוי באנרגיה בין שתי הרמות, לפי הנוסחה-

$$E_{\text{photon}} = h\nu$$

כאשר  $E_{\text{photon}}$  זו האנרגיה של הפוטון,  $\nu$  זו תדירות ו- $h$  הוא קבוע פלאנק. המעבר בין רמות האנרגיה יוצר פליטה של תדירויות מסויימות ויוצר את ספקטרום הפליטה. לכל אלמנט יש דיאגרמת רמות אנרגיה שונה היוצרת ספקטרום פליטה הייחודי לו ולכן ספקטרוסקופיה יכולה לשמש כדי לזהות מרכיבים כאשר הרכב חומר כלשהו אינו ידוע.



איור 5- ספקטרום הפליטה של אטום המימן



איור 6- ספקטרום הפליטה של אטום הברזל

#### 1.4.2 ספקטרום בליעה

כאשר מעבירים אור בעל רצף של אורכי גל (למשל אור לבן) דרך ספקטרומטר לאחר שעבר דרך גז, מגלים שישנם קווים כהים יותר בספקטרום. קווים אלו נוצרים בתדרים מסויימים ה"נבלעים" בחומר כשהם פוגעים בו.

אחת הדרכים לעורר אטום היא על ידי קרינה אלקטרומגנטית (פוטונים). כאשר האנרגיה של הפוטון שווה להפרש בין רמות אנרגיה של האטום, האלקטרון יכול לעלות לרמת אנרגיה גבוהה יותר, הפוטון יבלע והאטום יהיה מעורר.

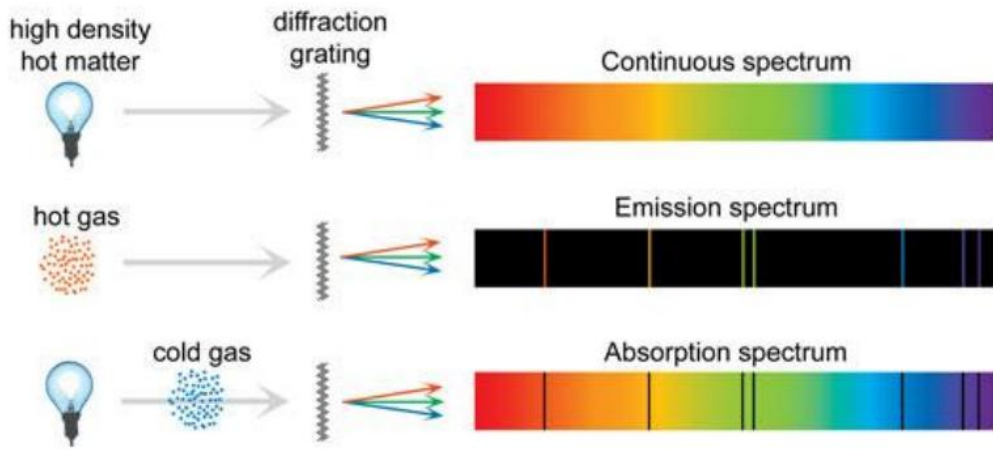
העובדה שרק צבעים מסויימים "חסרים" בספקטרום הבליעה מראה שרק תדירויות מסויימות של

$$E_{\text{photon}} = h\nu$$

אור נבלעות. תדירויות אלו מחושבות לפי הנוסחה-

כאשר  $E_{\text{photon}}$  זו האנרגיה של הפוטון,  $\nu$  זו תדירות ו- $h$  הוא קבוע פלאנק.

לכל יסוד כימי יש ספקטרום בליעה המאפיין אותו, על פי רמות האנרגיה של האלקטרונים שלו וניתן להשתמש בספקטרום הבליעה כדי לאבחן חומר. ספקטרום הבליעה כולל תדרים בדידים ולא רצף של תדרים. הפסים הבולטים אותם ניתן לראות בספקטרום הבליעה והפליטה הם בעלי אנרגיה התואמת למעברי אלקטרונים ברמות האטום.



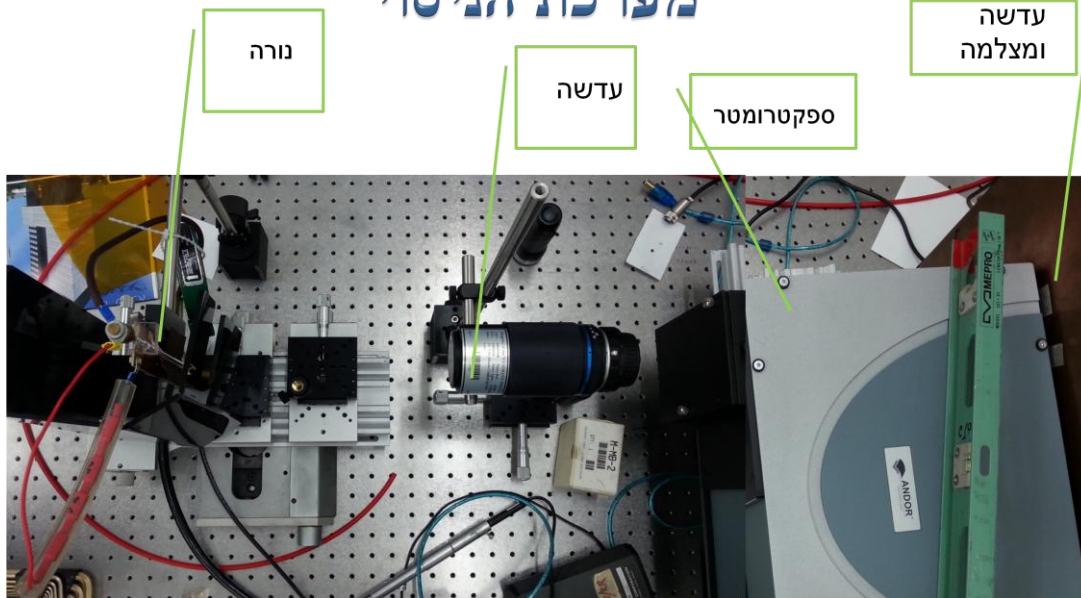
איור 7- השוואה בין הספקטרה השונים

## פרק 2- תיאור הניסויים

### 2.1 תיאור מערכת הניסוי

#### 2.1.1 תיאור כללי

### מערכת הניסוי



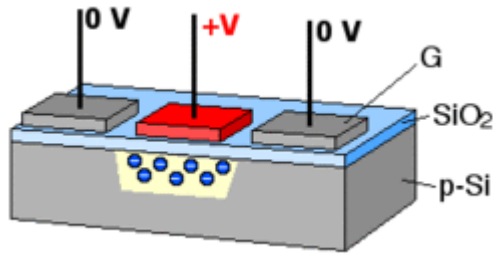
איור 8- מערכת הניסוי במבט מלמעלה

מערכת הניסוי בניסוי הראשון מורכבת ממקור אור העובר דרך עדשה מרכזת ונכנס לספקטרומטר. תפקיד העדשה ליצור דמות חדה של העצם בכניסת הספקטרומטר על מנת שעוצמת האור הנכנסת לספקטרומטר תהיה גדולה יותר.

ביציאה מהספקטרומטר האור עובר דרך עדשה מרכזת נוספת ומתקבל במצלמה. תפקיד העדשה השניה הוא להעביר את הדמות החדה המתקבלת בחלון היציאה של הספקטרומטר אל מערך התאים הפוטואלקטריים של המצלמה. עדשה זו מקובעת במקומה ואינה ניתנת להזזה, שכן היא מחוברת למצלמה. בניסוי השני הוספנו בין העדשה הראשונה לספקטרומטר תא שקוף שלתוכו הכנסנו נוזלים שונים.

#### 2.1.2 המצלמה

המצלמה במערכת היא מצלמת CCD (Charge Coupled Device) - היא מורכבת ממערך דו ממדי של תאים פוטואלקטריים. כאשר פוגע אור בתא, הוא גורם לשחרור אלקטרונים בהתאם להספק האור הפוגע. המידע עובר למחשב כמטריצה בה כל ערך מבטא את כמות האור הנקלט בתוך פיקסל מסויים. המטריצה הזאת מעובדת בעזרת תוכנות שונות בזמן ניתוח התוצאות.



איור 9- מצלמת CCD

### 2.1.3 הספקטרומטר

## הספקטרומטר מבט מלמעלה



איור 10- הספקטרומטר במבט מלמעלה

האור נכנס לספקטרומטר דרך חריץ צר (גודלו ניתן לשינוי). מראה ראשונה (לא מישורית) גורמת לקולימציה של הקרן (הפיכתה למקבילה). האלומה פוגעת בסריג החזרה. ניתן לבחור סריג אחד מתוך שלושה, הנבדלים זה מזה בצפיפות הסדקים שלהם. מהסריג האלומה חוזרת למראה נוספת שגורמת למיקוד של האלומה, כך שנקודות החיתוך של הקרניים מתקבלת בדיוק ביציאת הספקטרומטר.

בספקטרומטר שלנו, הפוקוס של הספקטרום (הצבעים השונים) ושל עצם כלשהו, יהיה בדיוק באותו מקום.

תוכנת המחשב המחוברת לספקטרומטר מאפשרת לבצע את החלפת הסריגים וכן לקבוע את אורך הגל שיתקבל במרכז הספקטרום, על ידי הזנת הסריג.

## 2.2 כיוול המערכת

שלבי הכיוול נעשים תמיד לפני כל ניסוי חדש המבוצע במערכת ומטרתם היא לאפשר קבלת תוצאות מהימנות ככל הניתן.

### 2.2.1 כיוון המערך האופטי

בכדי לוודא שרכיבי המערכת מקבילים זה לזה ונמצאים כולם על אותו קו ישר, נשתמש בלייזר פויינטר העומד במקום הנורה ונבצע שלושה שלבים:  
ראשית, מסמנים על דף המודבק לכניסת הספקטרומטר את מיקום פגיעת הלייזר, ללא העדשה הראשונה. מכניסים את העדשה ומכוונים אותה כך שנקודת הפגיעה בספקטרומטר תהיה אותה נקודה. לאחר מכן שמים מראה מישורית בכניסת הספקטרומטר ומוודאים שהקרן המוחזרת נתקבל בדיוק על הלייזר. ולבסוף מנקבים נקב קטן בנייר, מעמידים את הנייר בין הלייזר לעדשה ובודקים שאין החזרות מהעדשה לכיוון הלייזר, כלומר, שלא מתקבל אור מסביב לנקב.

### 2.2.2 קביעת ההגדלה

ממקמים נייר מילימטרי במקום הנורה ומאירים אותו בעזרת נורת כספית. מרחיבים את כניסת הספקטרומטר ומצלמים את הדמות שהתקבלה על מנת להעריך את הגדלת המערכת.

### 2.2.3 קבלת דמות חדה במצלמה

מציבים נורת כספית, שהיא בעלת ספקטרום בדיד. מצלמים את הספקטרום במצלמה, תוך הזזת העדשה השניה, עד לקבלת ספקטרום חד ככל האפשר. חדות הספקטרום מוערכת בעזרת מספר הפיקסלים ברוחב חצי הגובה של הפיק המתקבל.

### 2.2.4 מעבר מפיקסל לאנגסטרם

לפי ספקטרום הכספית הידוע מהספרות, מתאימים את מיקומי הפיקסלים בפיקסלים למיקומם באנגסטרם ומוצאים כמה אנגסטרם מייצג כל פיקסל.

### 2.2.5 כיוול תגובת המערכת האופטית כפונקציה של אורכי הגל

המערכת אינה מעבירה באופן שווה את כל אורכי הגל. מעבירים במערכת נורת להט שעוצמת האור כפונקציה של אורך הגל ידועה,  $I(\lambda)$ . בודקים מהי עוצמת האור כתלות באורך הגל המתקבלת במערכת, מחלקים בין עוצמות האור ומקבלים את פונקציה ההעברה של המערכת.

$$I_c(\lambda) = I_L(\lambda) \cdot R_s(\lambda, x, y, z)$$

$I_c$  - עוצמת האור של המצלמה כתלות באורך הגל

$I_L$  - עוצמת האור של נורת הלהט כפונקציה של אורך הגל

$R_s$  - פונקציה ההעברה של המערכת כתלות באורך הגל ומיקום הנקודה.

## 2.3 ניסוי 1- חקירת ספקטרום פליטה של מקורות אור שונים

### 2.3.1 מטרת הניסוי

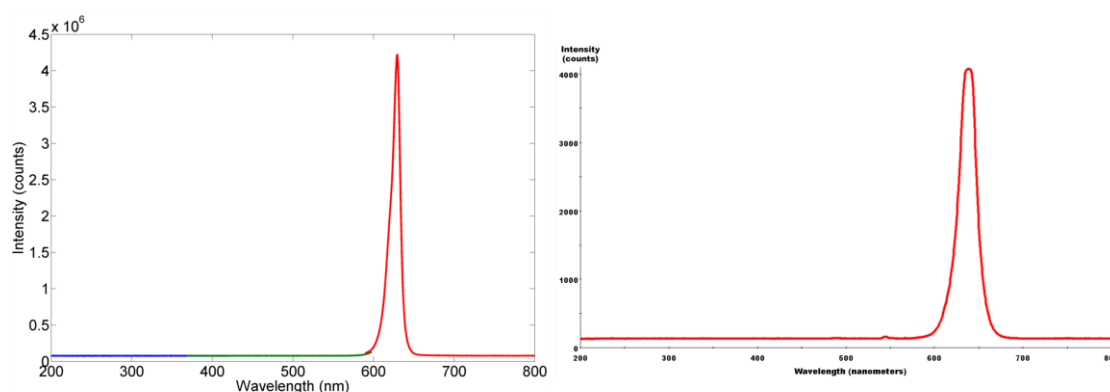
מציאת ספקטרום פליטה של נורות שונות והשוואה לספרות.

### 2.3.2 תיאור הניסוי

צילמנו את ספקטרום הפליטה של הנורות הבאות: נורת להט, נורת פלורוסנט, לד אדום ולד לבן. את התמונה שהתקבלה ניתחנו בעזרת שתי תוכניות שנכתבו ב-matlab. תוכנית אחת שרטטה את עוצמת האור סביב גובה מסויים כתלות בפיסקלים. תוכנית שניה התאימה בין הפיסקלים לאורך הגל (על פי הכיול שביצענו עם נורת הכספית). את התוצאות שהתקבלו השונו למתואר בספרות וניתחנו.

### 2.3.3 הממצאים וניתוח התוצאות

#### 2.3.3.1 נורת לד אדומה



ספקטרום הפליטה כפי שהתקבל במעבדה

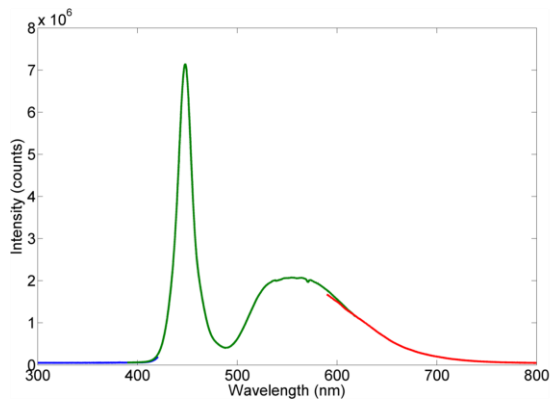
ספקטרום הפליטה המופיע בספרות

איור 11- ספקטרום הפליטה של נורת לד אדומה כפי שהתקבל במעבדה וכפי שמוצג בספרות<sup>1</sup>

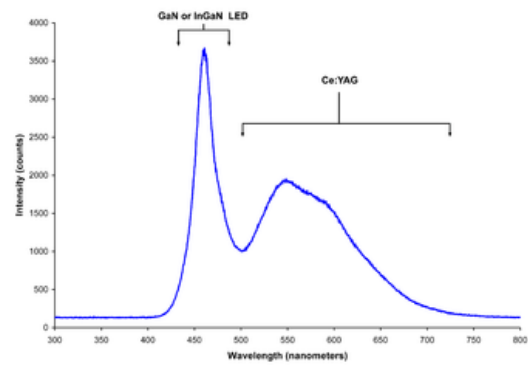
נורת הLED (Light Emitting Diode) היא דיודה פולטת אור. הדיודה כוללת מוליך למחצה שעבר זיהום על מנת ליצור צומת P-N. כאשר הדיודה מחוברת לממתח קדמי, זרם דרכה זרם- כלומר אלקטרונים מצד הN עוברים לצד הP וחורים מצד הP עוברים לצד הN. כאשר הדיודה בממתח אחורי, כמעט ולא יזרום בה זרם בגלל הכוחות החשמליים הדוחים שפועלים בתוכה. כאשר אלקטרון פוגש חור, הם עושים רקומבינציה תוך כדי פליטת פוטון המתאים לפער בין רמות האנרגיה. ולכן ספקטרום הפליטה של נורת הLED הוא בדיד ומתרכז בעיקר סביב אורך גל מסויים. הצבעים השונים של הדיודות נקבעים על ידי המוליכים למחצה שמרכיבים את צומת הP-N.

<sup>1</sup> מקור- [https://en.wikipedia.org/wiki/Light-emitting\\_diode](https://en.wikipedia.org/wiki/Light-emitting_diode)

### 2.3.3.2 נורת לד לבנה



ספקטרום הפליטה כפי שהתקבל במעבדה



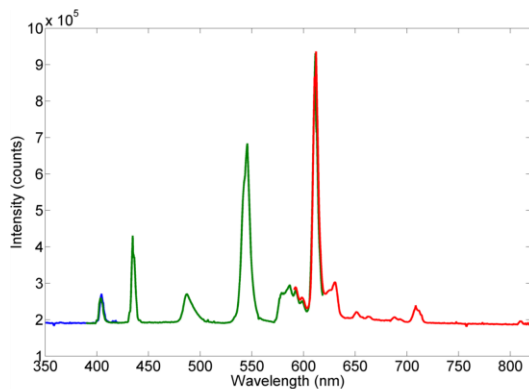
ספקטרום הפליטה המופיע בספרות

איור 12- ספקטרום הפליטה של נורת לד לבנה כפי שהתקבל במעבדה וכפי שמוצג בספרות<sup>2</sup>

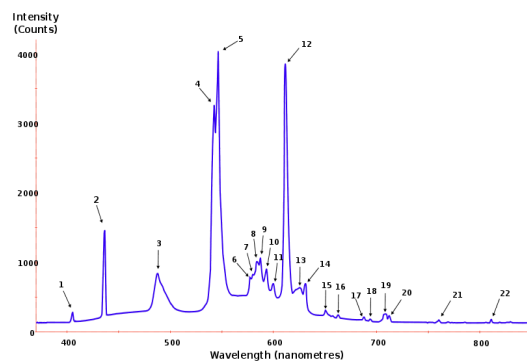
לד לבן (WLED) מיוצר בשתי דרכים: אחת, על ידי "ערבוב" שלושה צבעים- אדום וירוק וכחול על מנת ליצור אור לבן. שניה, על ידי פליטת אור בקרינת UV והפיכתו לאור נראה באמצעות חומר פלורוסנטי (בדומה למה שעושים בפלורוסנט).

ספקטרום הפליטה של הLED הלבן כולל פיק באיזור האור הכחול ועוד ספקטרום רציף בתחום הירוק-אדום שנגרם כתוצאה מהפלורנסציה של חומר זרחני (פלורוסנטי) המצפה את הנורה. כל אורכי הגל הנפלטים יוצרים יחד אור לבן.

### 2.3.3.3 נורת פלורוסנט



ספקטרום הפליטה כפי שהתקבל במעבדה



ספקטרום הפליטה המופיע בספרות

איור 13- ספקטרום הפליטה של נורת פלורוסנט כפי שהתקבל במעבדה וכפי שמוצג בספרות<sup>3</sup>

<sup>2</sup> מקור- [https://en.wikipedia.org/wiki/Light-emitting\\_diode](https://en.wikipedia.org/wiki/Light-emitting_diode)  
<sup>3</sup> מקור- [https://en.wikipedia.org/wiki/Fluorescent\\_lamp](https://en.wikipedia.org/wiki/Fluorescent_lamp)

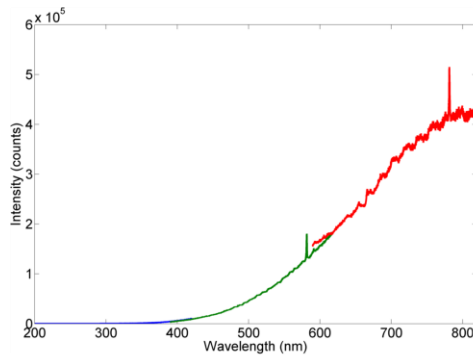
נורת הפלורוסנט בנויה משפופרת של צינור זכוכית מוארך המכילה גז בלחץ נמוך (לרוב ארגון או נאון) ואדי כספית. השפופרת מצופה מצידה הפנימי בציפוי פלורוסנטי- שפולט אור בתחום הנראה כאשר פוגע בו אור בתחום ה-UV. בקצות השפופרת חוטי להט המשמשים כאלקטרודות.

כמו כן, הנורה כוללת משנק המשמש להגבלת עוצמת הזרם בנורה ומתנע (סטרטר) המשמש ליצירת המתח הראשוני שמחמם את חוטי הלהט.

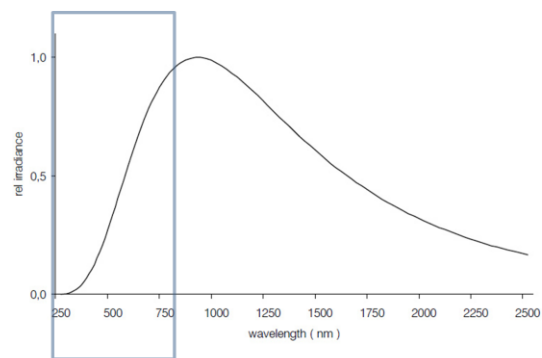
כאשר מחברים את הנורה לזרם החשמל, נבנה מתח גבוה על ידי המשנק בין האלקטרודות, והן מתחממות על ידי המתנע. החימום גורם לאידוי הכספית ולעירור או יינון האלקטרונים שבגז וכך הגז הופך לפלזמה (תערובת גז המורכבת מכמות לא זניחה של יונים). השדה החשמלי שנוצר בין האלקטרודות גורם לשחרור אלקטרונים מהקתודה החמה (באמצעות פליטה תרמיונית) ומשיכתם לאנודה- כך נוצר זרם חשמלי דרך הפלזמה. המשנק מייצב את המתח בין האלקטרודות ובכך גורם ליצירת זרם יציב.

האלקטרונים שעוברים דרך גז הכספית גורמים לעירור האלקטרונים. כאשר הם חוזרים, נפליטים פוטונים המתאימים להפרש האנרגיה בין הרמות של הגז. ספקטרום הפליטה של נורת הפלורוסנט הינו ספקטרום קוי. קוי הפליטה מתאימים למעברים בין רמות האנרגיה של הכספית ושל האטומים המרכיבים את הציפוי הפלורוסנטי. מטרת הפלזמה בנורת הפלורוסנט היא לקבוע את המוליכות בתוך הנורה ולהגדיל את המרחק שהאלקטרונים עוברים בתוך השפופרת, על מנת להגדיל את סיכוייהם לעירור אטום כספית. ספקטרום הפליטה של הכספית הוא ברובו בתחום האולטרא סגול, ולכן נדרש החומר הפלורוסנטי המצפה את הנורה.

#### 2.3.3.4 נורת להט



**ספקטרום הפליטה כפי שהתקבל במעבדה**

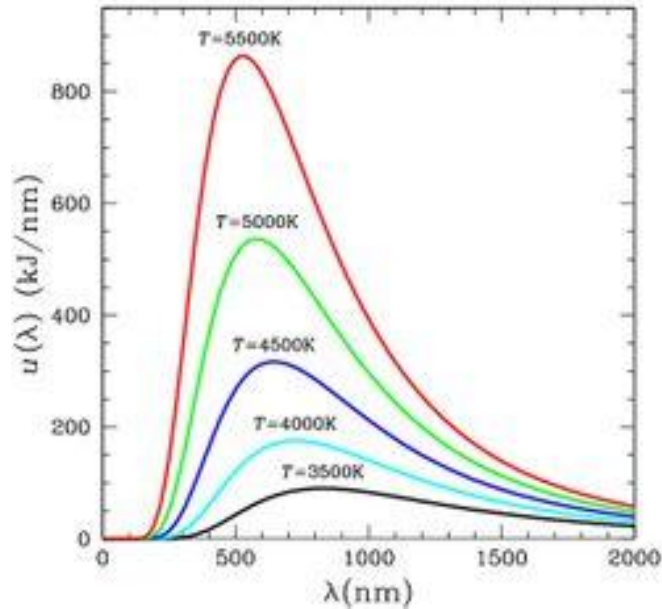


**ספקטרום הפליטה המופיע בספרות**

איור 14- ספקטרום הפליטה של נורת להט כפי שהתקבל במעבדה וכפי שמוצג בספרות

ספקטרום הפליטה של נורת להט הוא בקירוב טוב ספקטרום הפליטה של גוף שחור. גוף שחור אידיאלי הוא גוף הבולע באופן מושלם קרינה בכל אורכי הגל, ללא החזרה או העברה. גוף שחור פולט קרינה אלקטרומגנטית בכל אורכי הגל. העוצמה משתנה כתלות באורך הגל ובטמפרטורה של הגוף.

פלאנק העלה השערה לפיה האנרגיה הנפלטת מגוף שחור נפלטת במנות בדידות של אנרגיה, כאשר הסיכוי לפליטת אנרגיה בתדירויות גבוהות נמוך יותר מהסיכוי לפליטת אנרגיה בתדירויות נמוכות. מה שמסביר את הירידה בעוצמת האור עבור תדירויות גבוהות.



איור 15- ספקטרום פליטה של גוף שחור

נציין, כי ה"קפיצות" (spikes) שרואים בגרף שהתקבל במעבדה הן תוצאת לוואי של מדידה (artifact) ולא מהוות התנהגות אמיתית בספקטרום של נורת להט.

## 2.4 ניסוי 2- חקירת מקדם הנחתה של אור העובר דרך נוזלים שונים

### 2.4.1 מטרת הניסוי

קביעת מקדם הנחתה כפונקציה של אורך גל בנוזלים שונים על ידי מדידה של ספקטרום העברה של אור מנורת להט.

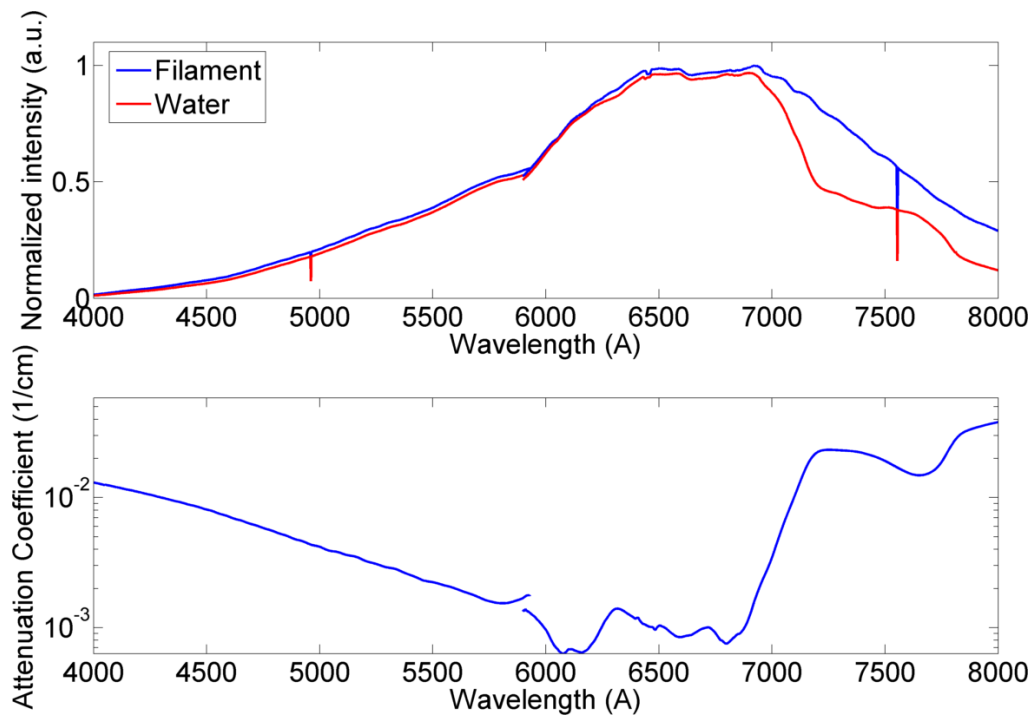
### 2.4.2 תיאור הניסוי

העברנו אור היוצא מנורת להט דרך תא באורך של כמה עשרות סנטימטרים ובו הנוזלים הבאים: מים מזוקקים, קפה, חלב, יין אדום. צילמנו את הספקטרום שהתקבל. ניתחנו אותו בעזרת התוכנות של matlab בהן השתמשנו בניסוי הקודם. נאלצנו לדלל את הנוזלים השונים בכמות גדולה של מים, על מנת שהאור יעבור דרכם ויגיע לספקטרומטר ולא יבלע לחלוטין. לכן קיבלנו למעשה ספקטרום הנחתה ולא בליעה, כי כמות המולקולות של הנוזלים השונים קטנה באופן משמעותי מכמות מולקולות המים. את ההשוואה ערכנו בין הספקטרום שהתקבל לאחר מעבר אור נורת הלהט דרך מים והספקטרום שהתקבל במעבר דרך נוזלים אחרים, באמצעות חלוקת הספקטרה זה בזה וקבלת גרף של מקדם ההנחתה כתלות באורך הגל עבור כל נוזל.

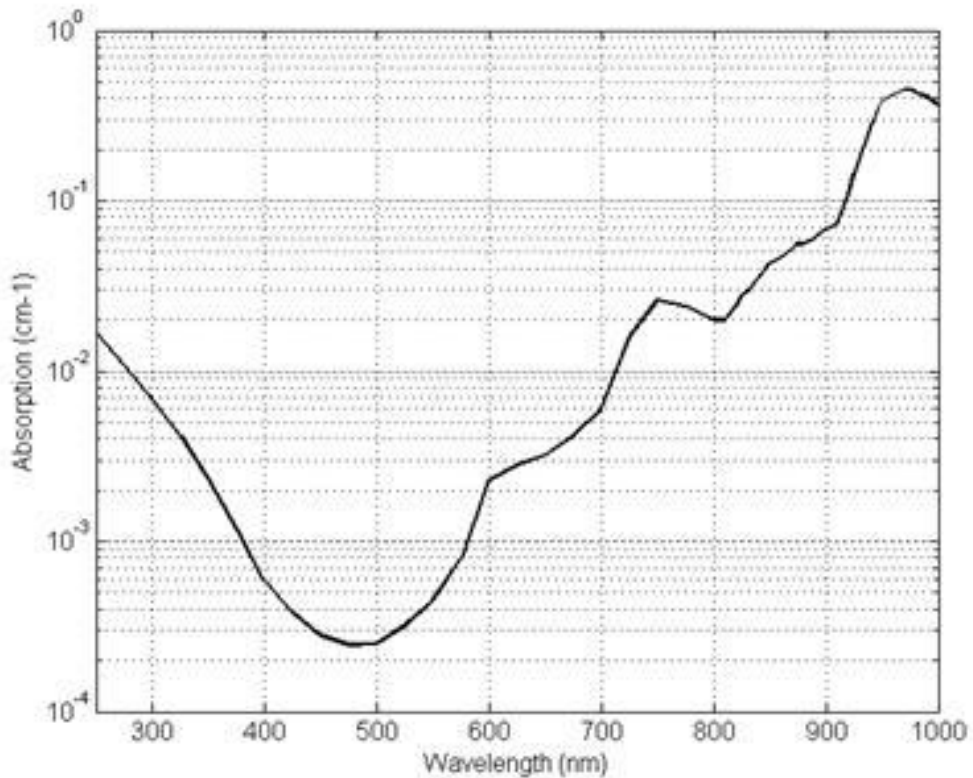
### 2.4.3 הממצאים וניתוח התוצאות

#### 2.4.3.1 מים מזוקקים

באורכי הגל הקצרים (גווני הכחול), ספקטרום ההעברה של המים דומה לספקטרום הפליטה של נורת הלהט, כלומר, ישנה כמעט העברה מלאה של האור, והמים הם שקופים עבור אורכי גל אלה. לעומת זאת, באורכי הגל הארוכים (גווני האדום), עוצמת הבליעה גבוהה יותר. דעיכה משמעותית של עוצמת האור במעבר דרך מים מתקבלת במרחקים בסדר גודל של מטרים, לכן כאן כמעט ולא קיבלנו דעיכה של עוצמת האור, מכיוון שהמרחק שהאור עבר בתוך המים היה בסדר גודל של עשרות סנטימטרים. הספקטרום שקיבלנו מתאים למתואר בספרות. ספקטרום הפליטה של נורת הלהט שקיבלנו בניסוי הזה נראה שונה מהספקטרום שקיבלנו בניסוי הראשון. הסיבה לכך היא שבניסוי זה לא ערכנו כיוול של תגובת המערכת האופטית כפונקציה של אורכי הגל. זה לא הכרחי כאן מכיוון שאנו מסתכלים על היחס שבין שתי מדידות. גם כאן נציין כי ה"קפיצות" (spikes) שרואים בגרף שהתקבל במעבדה הן תוצאת לוואי של מדידה (artifact) ולא מהוות התנהגות אמיתית בספקטרום שנמדד.



איור 16-מעבר אור דרך מים מזוקקים, ספקטרום פליטה ומקדם הנחתה

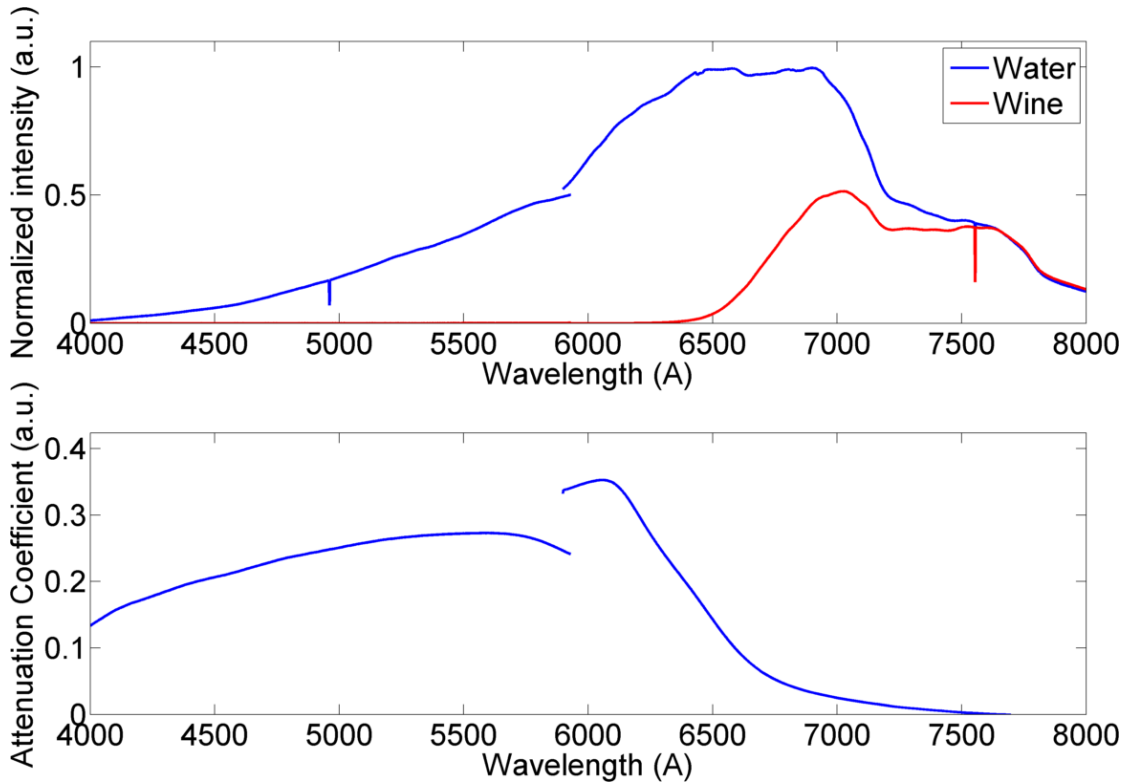


איור 17 - ספקטרום הבליעה במים כפי שמוצג בספרות<sup>4</sup>

<sup>4</sup> מקור [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Figure\\_2\\_The\\_absorption\\_spectrum\\_of\\_water.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Figure_2_The_absorption_spectrum_of_water.jpg)

### 2.4.3.2 יין אדום

ניתן לראות כי יין בולע את אורכי הגל הקצרים עד 620 nm ומעביר את אורכי הגל הארוכים יותר, כאשר העוצמה הגבוהה ביותר המתקבלת היא של אורך גל בסביבות 700 nm. כיוון שצבע היין אדום אנו מצפים שהוא יעביר את אורכי הגל המתאימים לצבע האדום ויבלע את אורכי הגל של גווני הכחול.

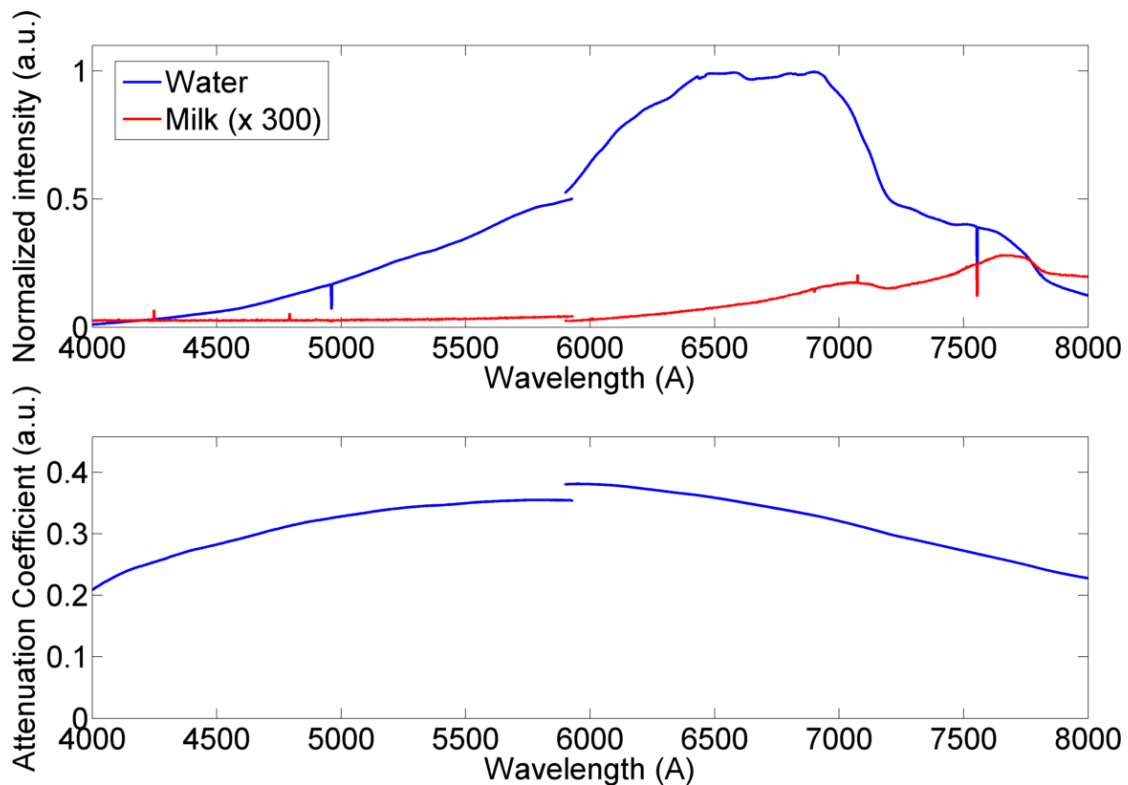


איור 18- מעבר אור דרך יין אדום, ספקטרום פליטה ומקדם הנחתה

### 2.4.3.3 חלב

מולקולות החלב גורמות לפיזור ריילי. פיזור ריילי מפזר בעיקר גלים בעלי אורך גל קצר. ולכן בספקטרום שהתקבל לבסוף, מופיעים הגלים בעלי אורך הגל הארוך יותר. בנוסף, צריך לזכור כי החלב מדולל בכמות גדולה של מים, לכן, למעשה, לא ניתן לבחון מהספקטרום שהתקבל בצורה מדויקת את ההעברה והבליעה של מולקולות החלב, מכיוון שהוא מעורב עם ספקטרום ההעברה של המים.

מכיוון שהספקטרום שהתקבל לאחר המעבר בחלב היה חשוך מעט, נאצלנו לכפול את עוצמת האור על מנת להשוות אותה בצורה נוחה עם ספקטרום המים.



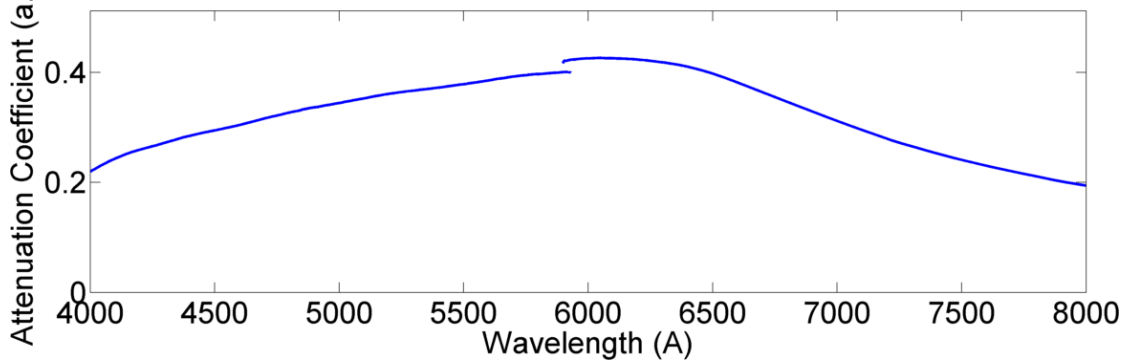
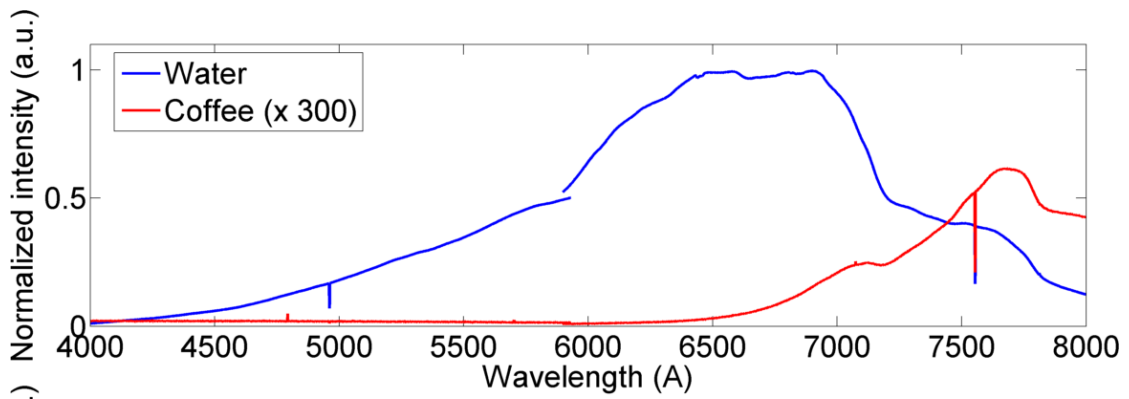
איור 19- מעבר אור דרך חלב, ספקטרום פליטה ומקדם הנחתה

#### קפה 2.4.3.4

מתקבל ספקטרום דומה מאוד לחלב, אך כאן הסיבה לעוצמה הנמוכה באורכי הגל הקצרים היא כנראה בליעה במולקולות הקפה. גם כאן, הקפה מהול בכמות גדולה של מים ולכן הספקטרום שהתקבל לא מעיד באופן מדוייק על תכונות הבליעה של מולקולות הקפה, אלא מעורב עם ספקטרום ההעברה של המים.

בדומה לחלב, מכיוון שהספקטרום שהתקבל לאחר המעבר בקפה היה חשוך מעט, נאצלנו לכפול את עוצמת האור על מנת להשוות אותה בצורה נוחה עם ספקטרום המים.

ניתן לראות כי גם עבור החלב וגם עבור הקפה קיבלנו גרפים דומים ("גבעות" קטנות סביב 7100A ו 7600A), תוצאה זו נגרמה בהשפעת המים, שהיוו אחוז גבוה מהנוזלים המהולים, דרכם עבר האור. בגרף התחתון שבו מחושב מקדם ההנחתה, לא מופיע ביטוי ל"גבעות" האלו, מכיוון שהגרף נוצר מחלוקת ספקטרום המים בספקטרום הקפה או החלב, כך שכל הגורמים הקשורים למקדם ההנחתה של המים מתבטלים ונשארים אך ורק עם ההשפעה של החלב או הקפה.



איור 20- מעבר אור דרך קפה, ספקטרום פליטה ומקדם הנחתה

## פרק 3- "רואים את האורות"

### מערך שיעורים בנושא ספקטרוסקופיה

#### 3.1 מדריך למורה

##### 3.1.1 רציונל

תוכנית הלימודים בפיזיקה כוללת את הפרק "מבנה האטום", אשר בו נלמד, בין היתר, גם הנושא של ספקטרום פליטה וספקטרום בליעה. מתוך ניסיונו בהוראת הנושא ומתגובות של תלמידים, נראה כי הלמידה נעשית לרוב תיאורטית, ללא המחשה ויזואלית ובלי התייחסות ליישומים הטכנולוגיים של הנושא.

לאחר החוויה שעברנו באופן אישי במעבדת האופטיקה, במסגרתה עבדנו עם ספקטרומטר וצפינו בספקטרומים שונים של פליטה ובליעה, החלטנו להעביר חלק ממנה גם לתלמידים.

מתוך רצון להנגיש לתלמידים את הנושא, בחרנו להתמקד בשני היבטים:

בצד הויזואלי-חוייתית- הכנת ספקטרוסקופ ביתי, צפייה בספקטרום של מקורות אור שונים והכרת ההבדל בין ספקטרום רציף לבדיד.

בצד היישומי-טכנולוגי- לימוד על נורות שונות המשמשות אותנו בחיי היומיום, תוך התייחסות להיסטוריה, למבנה הנורות ואופן פעולתן וליישומים טכנולוגיים המתבססים על עקרונות דומים.

כמו כן, התייחסנו גם ליישומים טכנולוגיים עכשוויים של ספקטרוסקופיה.

אנו מרגישות כי לימוד הנושא בהיקף כזה, יאפשר לתלמידים הבנה רחבה ועמוקה יותר של נושא הספקטרוסקופיה ויותר בהם חוויה משמעותית.

##### 3.1.2 מטרות

1. התלמידים יעשירו את ידיעותיהם בנושא ספקטרום פליטה של נורות שונות בצורה חוייתית ומהנה.

2. התלמידים יכירו את מכשיר הספקטרומטר ואת שימושיו.

3. התלמידים יראו ספקטרה<sup>5</sup> של מקורות אור שונים ויבינו את ההבדל בין ספקטרום בדיד לרציף.

4. התלמידים יכירו את הרקע ההיסטורי שהוביל לפיתוח של הנורות, בהן אנו משתמשים כיום.

5. התלמידים ילמדו על אופי פעולתן של הנורות.

6. התלמידים יכירו שימושים טכנולוגיים לנורות, ולתהליכים הפיזיקליים עליהם הן מבוססות.

##### 3.1.3 קהל היעד

תלמידי כיתות י"ב במסגרת לימוד הפרק "מבנה האטום" בתוכנית הלימודים בקרינה וחומר, או במסגרת הערכה חלופית, הנדרשת במסגרת התוכנית החדשה של בחינות הבגרות.

ניתן גם להתאים את הפעילות לתלמידי כיתה י' הלומדים על מקורות אור.

---

<sup>5</sup> ספקטרום ברבים

### 3.1.4 משך הפעילות

המערכים מותאמים לפרק זמן של 5 שעות אקדמיות. כאשר השיעור הראשון יעשה בנפרד והוא מיועד לבניית הספקטרוסקופ. ארבעת השיעורים הבאים ילמדו ברצף (ניתן גם במהלך כמה ימים) על פי אילוצי המערכת.

### 3.1.5 אופי הפעילות

השיעור הראשון מהווה סדנא, במסגרתה מכינים התלמידים ספקטרוסקופ ביתי. השיעורים הבאים מיועדים לעבודה מול המחשב, ביחידים או בזוגות, וכוללים שימוש במגוון רחב של טכנולוגיות כגון- סרטונים, אנימציות, יישומונים וקטעי שמע. התלמידים נדרשים לענות את תשובותיהם על גבי הדפים, בכתב יד או במחשב. כמו כן, ניתנת אפשרות לענות באמצעות מסמך גוגל ושליחתו למורה לבדיקה. לסיכום הפעילות נדרשים התלמידים להתכנס שוב במליאה לשיעור פרונטלי, שיועבר באמצעות מצגת.

### 3.1.6 הנחיות למורה

כפי שפורט לעיל בחלק המטרות, פעילות זו נועדה להעשיר את התלמידים בנושאים המופיעים בפרק מבנה האטום. לימוד מקדים של החומר על פי תוכנית הלימודים נדרש כאן, על מנת שתהיה לתלמידים פגישה נוספת עם אותו חומר מזווית אחרת.

### 3.1.7 מהלך הפעילות:

**שיעור ראשון**- הכנת ספקטרוסקופ. בשיעור זה יש להודיע לתלמידים מראש על הציוד המתאים שהם נדרשים להביא מהבית. התלמידים יקבלו דף הנחיות מפורט לבניית הספקטרוסקופ (מצורף לחוברת זו).

לאחר הכנת הספקטרוסקופ, יש להנחות את התלמידים לצפות באמצעותו במקורות אור שונים (שים לב: אסורה צפייה ישירה בשמש!) הנמצאים בבית או ברחוב. במידה וישנן נורות התפרקות (כספית, נתרן, ניאון) במעבדה, כדאי לאפשר לתלמידים לצפות בנורות אלו דרך הספקטרוסקופ. בשלב זה על התלמידים להתרשם מהספקטרה השונים ולרשום את מקורות האור בהם צפו ותיאורי הספקטרום שלהן על דף.

**שיעורים שני עד חמישי**- הכרת הנורות השונות. בחוברת קיימים ארבעה מערכי שיעור העוסקים בארבע נורות- נורת להט, נורת פריקה, נורת פלורוסנט ונורת LED. על המערכים להילמד בסדר בו הם מובאים.

- לצורך הלמידה נדרש מחשב לכל זוג תלמידים לפחות. ניתן לפצל את הלמידה לימים שונים או (פחות מומלץ) לעבודה עצמית בבית.
- כדאי להכין בכתה את הנורות השונות, על מנת לאפשר צפייה בהן דרך הספקטרוסקופ.
- יש לעבור היטב על דפי הפעילות לפני העברתם בכתה ולוודא שהשאלות תואמות את רמת התלמידים.

# כוואים את האוויות

- פעילות זו ניתנת להגשה לבדיקה כחלק מ-30% הערכה חלופית.
- בחר בדרך ההגשה הנוחה לך - ידנית, על מסמך הword המקורי או במסמך google docs. כדי לאפשר הגשה בגוגל דוקס פתח את המסמך המופיע בקישור - <http://goo.gl/forms/Xj7m4Jkpyh>. צור ממנו עותק נוסף בתיקיית driven שלך (לחיצה במקש ימני על המסמך שמופיע בתיקיית driven ובחירה באפשרות- "צור עותק") ושתף את הקובץ עם התלמידים.

**שיעור חמישי (המחצית השניה של השיעור)** - סיכום הפעילות והכרת יישומים טכנולוגיים של ספקטרוסקופיה. ניתן לעבור על שאלות שחזרו על עצמן בקרב התלמידים תוך כדי הפעילות. מצורפת לשימושך מצגת על יישומי הספקטרוסקופיה. מומלץ לקרוא את הקישורים המצורפים על מנת להרחיב את הידע בנושאים המופיעים במצגת.

נשמח לשמוע תגובות ורשמים ב- [esh@saad.org.il](mailto:esh@saad.org.il) , [adinoga12@gmail.com](mailto:adinoga12@gmail.com)

בהצלחה ובהנאה!

ענת אש ועדי נגה

מחזור ו' תוכנית רוטשילד ויצמן

# כּוֹאִים אֵת הַאֻרֹת

## 3.2 הוראות לבנית ספקטרוסקופ

**למורה-** לפניך שתי אפשרויות לבניית ספקטרוסקופ עם התלמידים. האפשרות הראשונה דורשת הערכות זמן מה מראש ואיסוף החומרים הנדרשים לבניה. האפשרות השניה דורשת הדבקת הדף המצורף על נייר בריסטול שחור, גזירה מסביב וקיפול על פי ההוראות.

### אפשרות ראשונה

מתורגם מתוך-

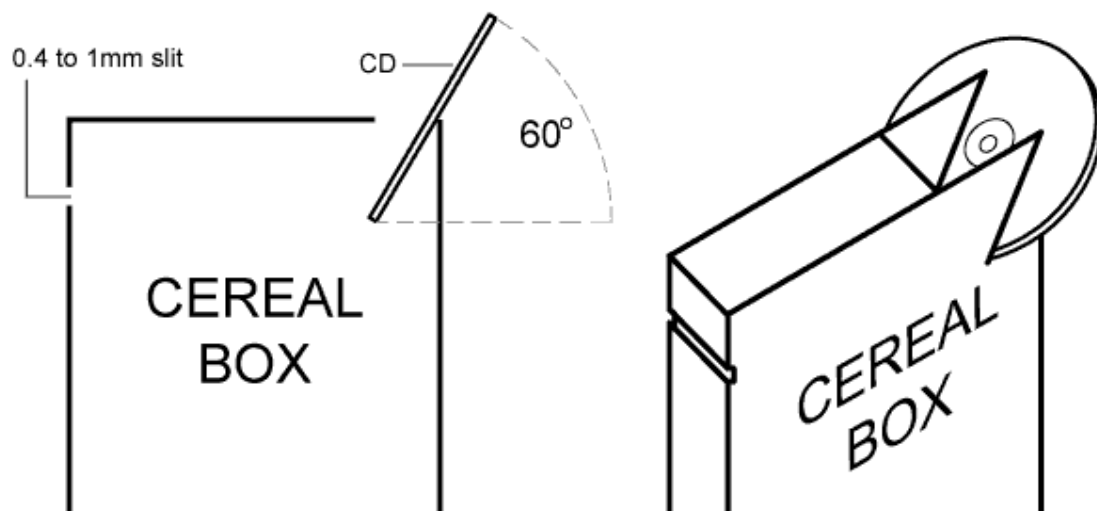
[http://coolcosmos.ipac.caltech.edu/cosmic\\_games/spectra/makeGrating.htm](http://coolcosmos.ipac.caltech.edu/cosmic_games/spectra/makeGrating.htm)

### הציוד הנדרש:

- דיסק
- קופסת קרטון (רצוי כמה שיותר קשיחה. למשל- קופסאות של פתית, טבליות למדיח וכד')
- מספריים
- נייר אלומיניום
- סלוטייפ
- סרגל משולש בזווית של  $60^\circ$



הנה תיאור סכמטי של מה שנעשה:



# רואים את האיות

שלבי העבודה:

קראו את השלבים היטב והעזרו בתמונות.

1. מדדו בחלק העליון של הקופסה 4 ס"מ מהקצה וסמנו את המיקום על גבי הקופסה.
2. השתמשו בזווית הישרה של הסרגל ושרטטו קו לרוחב הקופסה במיקום אותו סימנתם בסעיף הקודם.
3. חתכו את הקופסה לאורך הקו, פתחו את הקופסה וגזרו החוצה את הקרטון ליצירת פתח בצורת ריבוע.



4. מקמו את הצלע הקצרה של הסרגל המשולש לאורך הקצה העליון של הקופסה (לקבלת זווית של  $60^\circ$ ) וסמנו קו באורך של 7.5 ס"מ היוצא מפינת הקופסה לאורך היתר של הסרגל. עשו זאת גם מהצד השני של הקופסה. חתכו את שני הקווים בעזרת מספריים.



# קואים את האויות

5. הכניסו את הדיסק דרך החריצים שיצרתם כפי שנראה בתמונה.



6. כעת עליכם לגזור מלבן בצד השני הארוך של התיבה (מול הדיסק) כמתואר בתמונה. המלבן צריך להיות ברוחב התיבה ובגובה של 1.5 ס"מ. החלק העליון של המלבן צריך להיות במרחק של 0.7 ס"מ מהקצה העליון של הקופסה. על מנת לחתוך את המלבן, עליכם לתקוע עט על מנת ליצור חור באמצע החלק שסימנתם ואז לגזור מסביב בעזרת מספריים.



# רואים את האורות

7. כסט חצי מהפתח שיצרתם בעזרת נייר אלומיניום עבה מקופל לשנים (את החלק המקופל מקמו במרכז הפתח). הדקו לקופסה בעזרת סלופייפ.



8. דרושה חתיכה נוספת של נייר אלומיניום לכיסוי החצי השני של הפתח. בין שני ניירות האלומיניום השאירו רווח צר ברוחב של 1-4 מ"מ. אם הפתח יהיה רחב מדי, הספקטרום שיתקבל יהיה מטושטש, אם הפתח יהיה צר מדי, הספקטרום לא יהיה מואר מספיק.

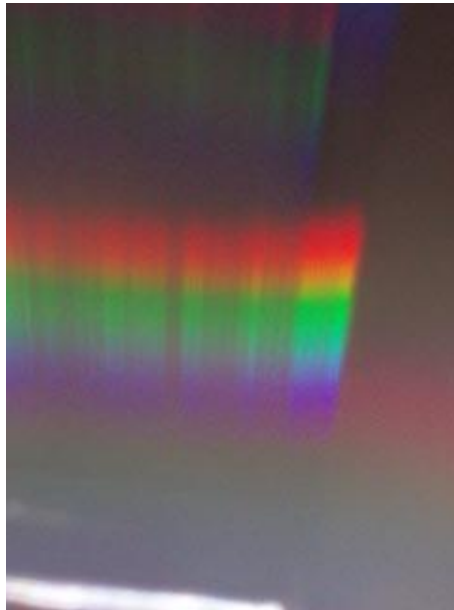


# קואים את האורות

9. הדביקו את הפתח העליון של הקופסה כך שתישאר סגורה.

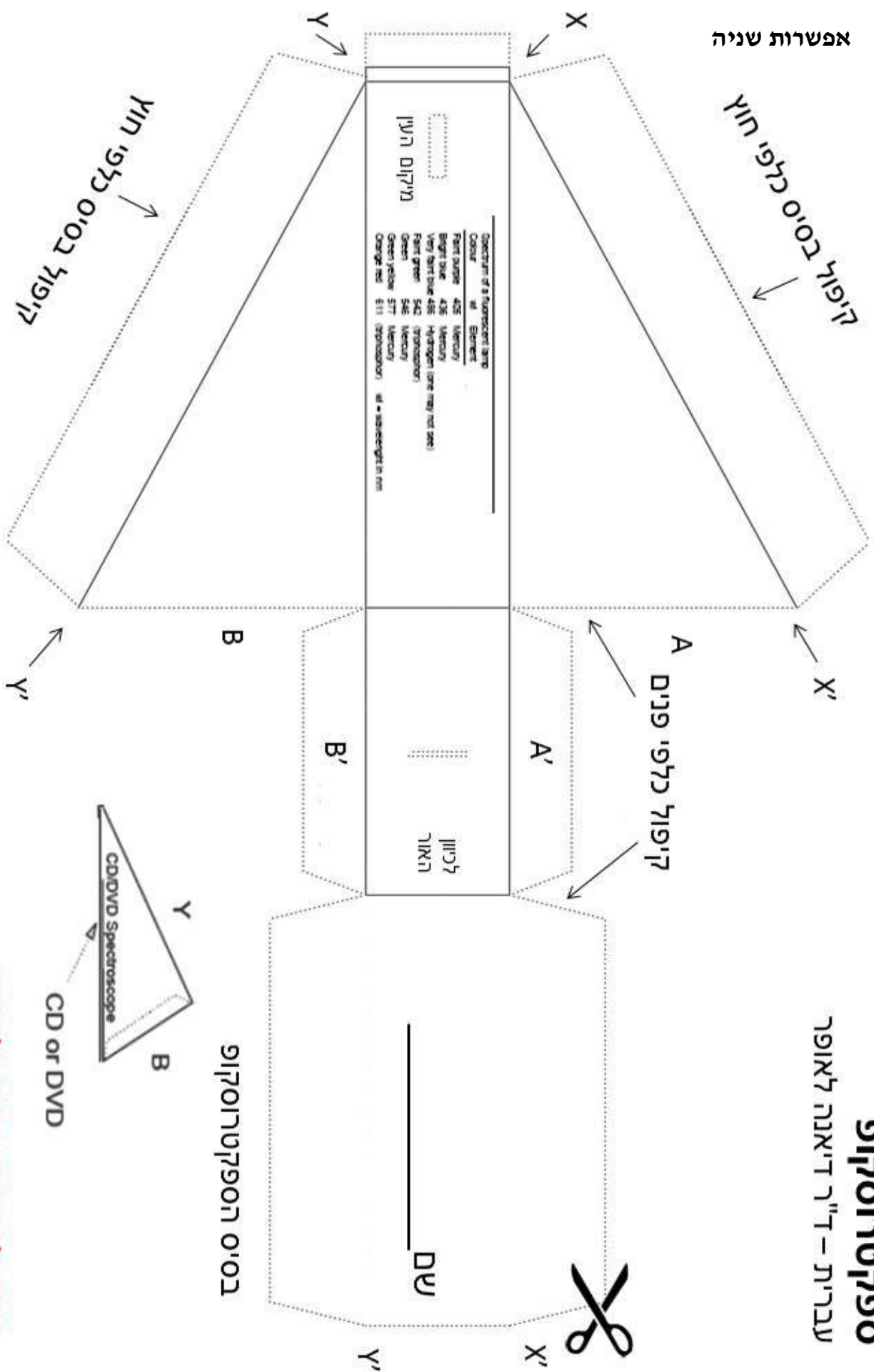


10. כווננו את הסדק לנורה והסתכלו לתוך החור. אתם אמורים לראות משהו כזה:



כעת תוכלו לצפות במקורות אור שונים בעזרת הספקטרוסקופ שלכם. שימו לב! **אסור להסתכל ישירות לאור השמש!** אתם יכולים להסתכל על עננים או על קיר לבן שנמצא באור השמש.

אפשרות שניה



# ספקטרוסקופ

עברית – ד"ר דיאנה לאופר

אסור להפנות ישירות לשמש

<http://www.iucaa.ernet.in/~scipop/Obsestion/spectro/crd brd spectro.htm>



# רואים את האורות



## 3.3 נורת להט

שנים רבות נורת הלהט הייתה נורה נפוצה ביותר. בכל מקום אפשר היה לראות נורות להט. את נורת הלהט המציא תומס אדיסון בשנת 1897, כמענה לצורך שהיה באותה תקופה.



איור 21- תומס אדיסון, ממציא נורת הלהט

במאה ה-19, כורים שעבדו מתחת פני הקרקע השתמשו בלפידים ועששיות. הבעירה של אמצעי התאורה האלה הגדילה את ריכוז הפחמן הדו חמצני באוויר המכרה, והקשתה על הנשימה. במכרות הפחם היתה גם סכנה גדולה שאבקת הפחם המרחפת באוויר תתפוצץ בגלל להבות התאורה. לאחר המצאת הנורה כריית הפחם נעשתה גם בריאה וגם בטיחותית יותר.

המצאת הנורה החשמלית השפיעה מאוד על החברה האנושית והיו לה השפעות חברתיות מרחיקות לכת. כמו למשל-

- א) שעות העבודה שוב אינן מוגבלות לשעות האור. התאורה החשמלית מאפשרת יום עבודה ארוך יותר מכפי שהיה עד המצאתה.
- ב) הנורות גם מאפשרות תנועה ונסיעה בטיחותית בלילה או בתנאי ראות לקויים.
- ג) בעזרת נורות חשמליות, השתפרה יכולתם של המגדלורים להנחות את דרכן של ספינות בלילה.

כדי להכיר קצת יותר את נורת הלהט ועקרון הפעולה שלה היכנסו לכתובת-  
<https://www.mada.org.il/game/nura.html>



אין צורך להזין פרטים אישיים, לחצו על לחצן "המשך".  
בסיום הסרטון לחצו "המשך", קראו את שלושת קטעי המידע, לחצו על לחצן ה"המשך" וענו על השאלות המוצגות.

לאחר שעשינו היכרות ראשונית עם נורת הלהט, נכיר את תכונות הקרינה הנפלטת ממנה.  
כפי שכבר ראיתם (ואם עדיין לא ראיתם, התבוננו כעת) ספקטרום הפליטה של נורת הלהט הוא ספקטרום \_\_\_\_\_ רציף/בדיד.



לקרינה הנפלטת מנורת להט יש תכונות של **קרינת גוף שחור**.  
גוף שחור הוא עצם אידיאלי הבולע באופן מושלם קרינה אלקטרומגנטית בכל אורכי הגל, ללא החזרה או העברה. כל קרינה אלקטרומגנטית שפוגעת בו, נספגת בו לחלוטין ומשפיעה עליו בצורה

# כואים את האורות

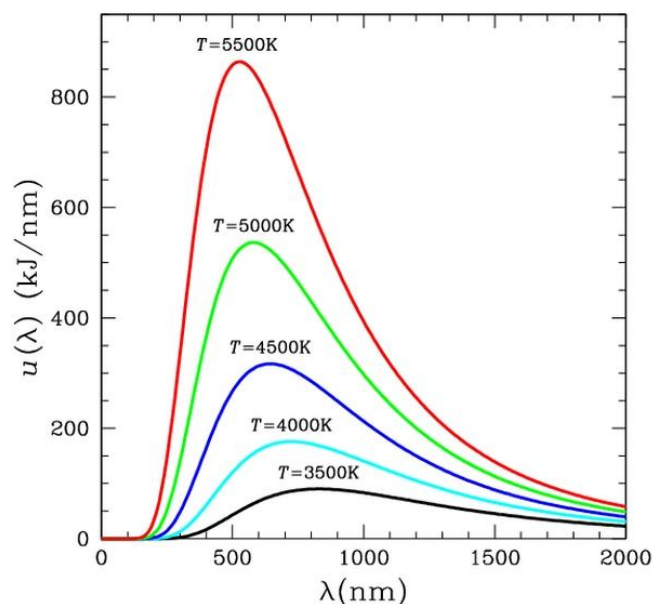
אחת בלבד – גורמת לו להתחמם. כתוצאה מהחימום, הגוף פולט קרינה הנקרא קרינת גוף שחור. תכונות הקרינה הנפלטת תלויות אך ורק בטמפרטורת הגוף ולא בקרינה שהוא סופג. גוף שחור אידיאלי הוא קירוב טוב לתיאור הקרינה הנפלטת מגופים חמים רבים, כגון: אור השמש, נורת להט וקרינת תת-אדום מבעלי חיים. גוף שחור קורן בכל אורכי הגל, בעוצמה התלויה באורך הגל ובטמפרטורה של הגוף. גוף שחור בטמפרטורה הנמוכה מכ-700 מעלות קלווין (430 מעלות צלזיוס), פולט מעט מאוד קרינה באור הנראה, וקורן בעיקר בתדירויות נמוכות יותר, כמו גלי רדיו, מיקרוגל ותת-אדום. דוגמה מצוינת לכך היא מתכת הברזל. ברזל בטמפרטורת החדר הוא בצבע אפור-כסף (או חום-אדום כאשר הוא מתחמץ ומחליד), אך כאשר הוא מתחמם הוא יתחיל לפלוט קרינה בצבע אדום, ועם המשך החימום והתכתו לנוזל, הוא יפלוט קרינה בצבע לבן-צהוב.

התבוננו בסרטון הבא (עד 7:25 דקות)



<http://davidson.weizmann.ac.il/online/maagarmada/physics/%D7%9E%D7%9B%D7%90%D7%A0%D7%99%D7%A7%D7%AA-%D7%94%D7%A7%D7%95%D7%95%D7%A0%D7%98%D7%99%D7%9D-1-%E2%80%93%D7%94%D7%90%D7%95%D7%A8-%D7%91%D7%9E%D7%9B%D7%90%D7%A0%D7%99%D7%A7%D7%AA-%D7%94%D7%A7%D7%95%D7%95%D7%A0%D7%98%D7%99%D7%9D>

היעזרו בגרף הבא – עוצמת הקרינה הנפלטת כתלות באורך הגל עבור טמפרטורות שונות של הגוף.



# רואים את האורות

וביישומון

[https://phet.colorado.edu/sims/blackbody-spectrum/blackbody-spectrum\\_en.html](https://phet.colorado.edu/sims/blackbody-spectrum/blackbody-spectrum_en.html)

וענו- על אילו תכונות של הקרינה האלקטרומגנטית משפיעה הטמפרטורה של הגוף?

- (1) \_\_\_\_\_  
(2) \_\_\_\_\_



בסרטון הראשון אותו ראינו, מדגים המנחה כיצד משתנה צבע האור הנפלט מנורת הלהט כאשר הוא משנה את עוצמת הזרם. כעת, תוכלו להסביר מדוע זה מתרחש?



---

---

ראינו אם כן כי הטמפרטורה של הגוף הקורן משפיעה על שתי תכונות:

(1) על אורכי הגל של הקרינה. הקשר בין טמפרטורת הגוף לאורכי הגל הנפלטים מנוסח **בחוק ויין** המבטא את אורך הגל הנפלט בעוצמה מקסימלית  $\lambda_{\max}$ , כפונקציה של הטמפרטורה  $T$ .

$$\lambda_{\max} = \frac{B}{T}$$

$B$  הוא קבוע פרופורציונאלי השווה ל-  $0.2897[m \cdot K]$

מחוק ויין ניתן לראות כי ככל שהטמפרטורה של הגוף \_\_\_\_\_ יותר אורך הגל הנפלט בעוצמה המקסימלית \_\_\_\_\_.



(2) על עוצמת הקרינה. הקשר בין עוצמת הקרינה מנוסח על ידי **חוק סטפן בולצמן** המבטא את עוצמת הקרינה  $I$  (ליחידת שטח ליחידת זמן), כתלות בטמפרטורה של הגוף,  $T$ .

$$I = \sigma T^4$$

כאשר  $\sigma$  הוא קבוע סטפן בולצמן השווה ל-  $5.670 \cdot 10^{-8}[J \cdot s^{-1} \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}]$

מחוק סטפן בולצמן ניתן לראות כי ככל שהטמפרטורה של הגוף \_\_\_\_\_ יותר, עוצמת הקרינה הנפלטת מהגוף \_\_\_\_\_.



ראינו כי ניתן ללמוד על הרכב כוכבים ועל הטמפרטורה שעל פניהם מהקרינה המגיעה אלינו. לפניכם מספר תמונות של כוכבים.

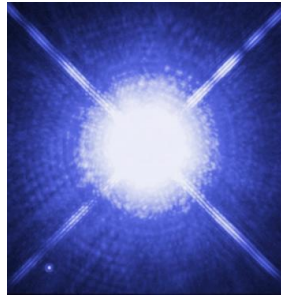
היעזרו ביישומון אותו פתחתם קודם לכן [https://phet.colorado.edu/sims/blackbody-spectrum/blackbody-spectrum\\_en.html](https://phet.colorado.edu/sims/blackbody-spectrum/blackbody-spectrum_en.html)

ושערו את טמפרטורת פני הכוכב. שימו לב כי בצד ימין למעלה במסך מופיע צבע הקרינה של הגוף כפי שהעין שלנו קולטת אותה (RGB). השוו עם ספרות מקצועית ובדקו את השערתכם.



# קואים את האויות

Sirius

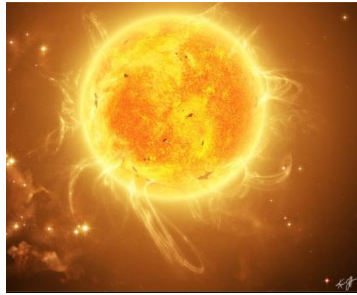


הטמפרטורה:

\_\_\_\_\_ : השערה שלכם

\_\_\_\_\_ : על פי הספרות:

Arcturus



הטמפרטורה:

\_\_\_\_\_ : השערה שלכם

\_\_\_\_\_ : על פי הספרות:

Antares

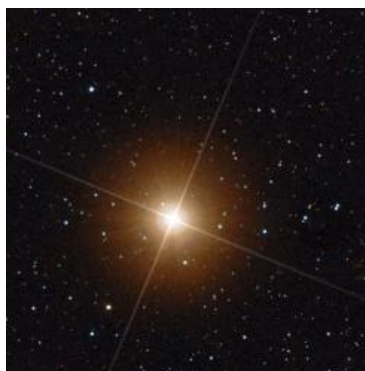


הטמפרטורה:

\_\_\_\_\_ : השערה שלכם

\_\_\_\_\_ : על פי הספרות:

Capella



הטמפרטורה:

\_\_\_\_\_ : השערה שלכם

\_\_\_\_\_ : על פי הספרות:

# רואים את האורות



## 3.4 נורות פריקה

נורות הפריקה פותחו בתחילת המאה 20. נורות הפריקה מאירות כאשר זרם חשמל עובר דרך שפופרת עם גז והגז מתפרק (מעורר). כאשר הגז מתפרק הוא פולט אור.

אפשר לחלק את נורות הפריקה לנורות פלורוסנטיות- שבהן הצד הפנימי של השפופרת מצופה בחומר פלורוסנטי ומתרחש בהן תהליך נוסף לתהליך הפריקה של הגז (ועליהן נלמד בפרק הבא). נורות כגון- נורות כספית, נתרן, ניאון- שמאירות אך ורק הודות לתהליך פריקת הגז. נורות אלו הן הנורות הצבעוניות שאנו רואים פעמים רבות בשלטי חוצות.

אם התבוננתם בספקטרום הפליטה של נורות מעין אלה, בוודאי שמתם לב כי ספקטרום הפליטה שלהן הוא \_\_\_\_\_ רציף/בדיד.



(אם טרם התבוננתם- לא נורא. בקשו מהמורה לראות את ספקטרום הפליטה של נורת כספית/נתרן).

כדי להבין את עיקרון הפעולה של נורות אלו, עלינו להיזכר ראשית במספר תהליכים פיזיקליים עליהם למדנו בפרק "מבנה האטום". ענו כעת על השאלות הבאות. ניתן להיעזר באתרים הבאים (או בכל מקור אחר)-



(1) <http://clickit3.ort.org.il/apps/WW/page.aspx?ws=d1cc7f84-1b53-46f5-854c-29cef96025c8&page=3af63a3f-1f2a-47ad-b3dd-f223f55497c5&box=67764576-0bf8-4650-9668-35c43b0aed01& pstate=item& item=1b36a34f-34b4-4e59-9d11-846fad010d42>

(2)

<http://faraday.physics.utoronto.ca/PVB/Harrison/BohrModel/Flash/BohrModel.swf>

(3) <http://62.90.118.184/?CategoryID=1059&ArticleID=3235>

• תאר את מודל האטום של בוהר. \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

• הסבר מהו אטום מעורר. \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

• כיצד הופך אטום ברמת היסוד לאטום מעורר? ציין שתי דרכים שונות וכתוב מה ההבדל ביניהן. \_\_\_\_\_

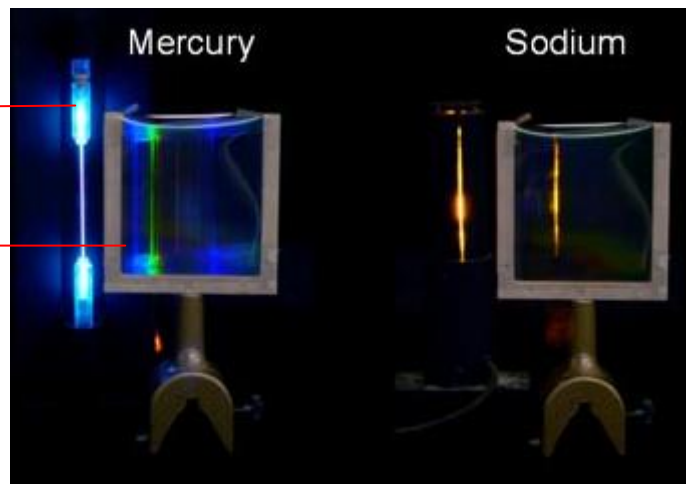
\_\_\_\_\_

# כואים את האויות

- מה קורה לאטום כאשר הוא מעורר?

עתה, ניתן לפרט ולהסביר כיצד פועלות נורות הפריקה – כאשר מדליקים את הנורה עובר במעגל זרם של אלקטרונים. הנורה מורכבת בדרך כלל מקבל לוחות. בין הלוחות ישנם גזים אצילים (כגון ניאון) ואדי כספית (בנורת כספית. בנורות אחרות החומר הוא בהתאם לסוג הנורה, למשל- נתרן). הזרם מחמם את הקתודה (שבמקרה זה היא ההדק השלילי) כך שהיא פולטת אלקטרונים. חלק מהאלקטרונים יכולים ליינן את אטומי הגז האציל (כלומר לעקור מתוכם אלקטרונים). אלקטרונים אלו יכולים לפגוע באטומים אחרים וליינן גם אותם, וכך מתאפשר מעבר של זרם מוגבר. בנוסף, אלקטרונים יכולים להתנגש באטומים של אדי הכספית. אם יש לאלקטרון המתנגש אנרגיה קינטית מספקת, הוא יכול להעביר אותה לאלקטרון של אטום הכספית. בכך הוא מעורר את האטום, כלומר מעלה את האלקטרון שקיבל את האנרגיה הקינטית לרמת אנרגיה גבוהה יותר. נציין שבמהלך זה הולכת לאיבוד חלק מהאנרגיה הקינטית המקורית של האלקטרון החופשי. האטום המעורר חוזר לרמת היסוד תוך פליטת פוטון (או מספר פוטונים). הצבע שפולטת הנורה תלוי בסוג הגז הנמצא בנורה. רמות האנרגיה של הגז קובעות אלו אורכי גל יפלטו. הצבע המתקבל הוא ערבוב של כל אורכי הגל הנפלטים.

התמונות הבאות מתייחסות לספקטרום של נורת כספית (Mercury) ונורת נתרן (Sodium). ניתן לראות את האור שנפלט מהנורה ואת הספקטרום הבדיד של הנורה.



האור שנפלט מהנורה.

הספקטרום של הנורה.

# כּוּאִים אֵת הַאִוִּוּת

## קטע מידע:

גז אציל- גזים אצילים הם יסודות כימיים המשתייכים לטור השמיני בטבלה המחזורית. יסודות אלו הם אל-מתכות והם מופיעים כגזים בתנאים סטנדרטיים. ששת הגזים האצילים הנמצאים בטבע הם: הליום, (He) נאון, (Ne) ארגון, (Ar) קריפטון, (Kr) קסנון (Xe) והיסוד הרדיואקטיבי רדון (Rn).

מבחינה כימית, הגזים האצילים יציבים מאוד מכיוון שהם מכילים 8 אלקטרוני ערכיות בקליפת האלקטרונים החיצונית שלהם, שהוא המספר המקסימלי שהקליפה החיצונית יכולה להכיל (פרט להליום שבו 2 אלקטרונים בקליפה החיצונית). כתוצאה מכך הם ממעטים להשתתף בתגובות כימיות, ומכאן שמם.

לפניך היגדים המתארים את התהליך המתרחש בנורת פריקה. גרור וסדר אותם בטבלה שבעמוד הבא לפי סדר ההתרחשות שלהם (המספרים המופיעים על ההיגדים



אקראיים והם מיועדים לתלמידים העובדים עם google docs).

- |   |   |   |
|---|---|---|
| 3. כאשר אטום כספית חוזר למצב היסוד הוא פולט אור.          | 2. האלקטרונים החופשיים ש"השתחררו מאטומי הגז מייננים | 1. נוצר זרם אלקטרונים מוגבר                       |
| 6. הצבע שפולטת הנורה תלוי בסוג הגז הנמצא בה.              | 5. זרם חשמלי מחמם את הקתודה.                        | 4. הצבע המתקבל הוא ערבוב של כל אורכי הגל הנפלטים. |
| 9. חלק מהאלקטרונים מתנגשים באטומים של אדי הכספית ומעוררים | 8. הנורה מורכבת משפופרת שבקצוות שלה יש לוחות קבל.   | 7. בין לוחות הקבל ישנו גז אציל ואדי כספית.        |
| 12. חלק מהאלקטרונים הנפלטים מייננים את אטומי הגז האציל.   | 11. רמות האנרגיה של הגז קובעות אלו אורכי גל יפלטו.  | 10. הקתודה פולטת אלקטרונים                        |



# קואים את האיות

	.3	.2	.1
←	←	←	
	.6	.5	.4
←	←	←	←
	.9	.8	.7
←	←	←	←
	.12	.11	.10
	←	←	←

# **כואים את האויות**

פתח את הישומון המצורף והעזר בו על מנת למלא את הטבלה המצורפת (מלא את הטבלה רק עבור הקווים הספקטראליים ששייכים לאור הנראה)-

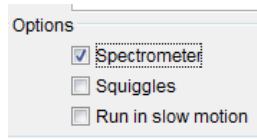


<https://phet.colorado.edu/en/simulation/discharge-lamps>

One Atom     Multiple Atoms    בראש המסך מופיעות שתי לשוניות-

בחר בתחילה באפשרות של " one Atom " ולאחר שתכיר את האפשרויות של הישימון עבור ל- "Multiple Atoms" ומלא את הטבלה.

ישנה אפשרות לשנות את מתח הסוללה. שנה את מתח הסוללה ובדוק את ההשפעה של השינוי. בצד ימין ישנו מקרא ומתחתיו ישנה אפשרות לבחור את הגז המבוקש. בחר בתחילה כספית (Mercury) ואחר חזור על התהליך עם נתרן (Sodium).



בתחתית העמודה, ישנם מס' אפשרויות- . בחר באפשרות של

"spectrometer" על מנת שתוכל למלא

את הטבלה בקלות. לאחר שתבחר

באפשרות זו יופיע ספקטרומטר על המסך.

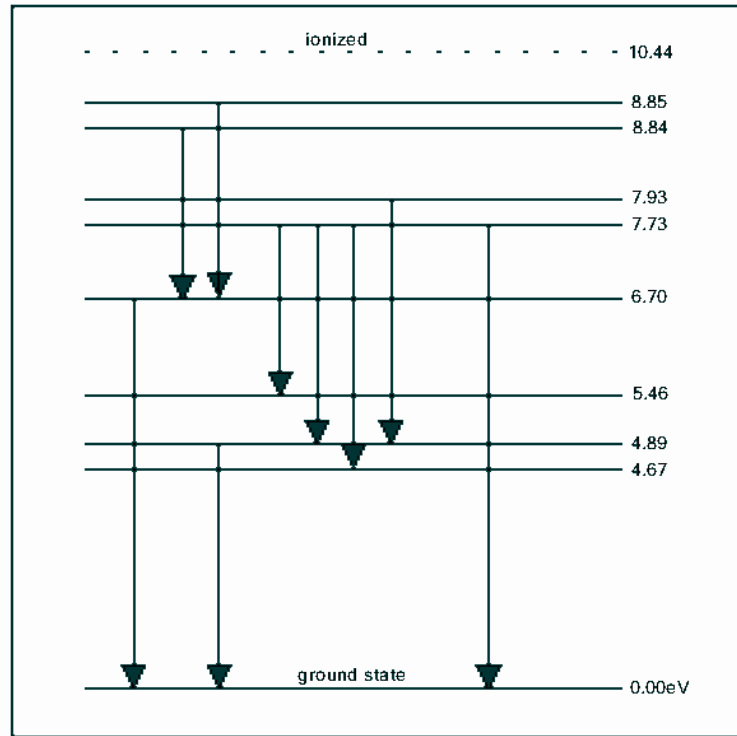
שים לב כי ליד כפתור play ישנה אפשרות לראות תמונה של נורות פריקה מסוגים שונים.

נורת נתרן (Sodium)	נורת כספית (Mercury)	
		הצבע בו מאירה הנורה
		מספר קווים ספקטראליים
		אורכי הגל של הקווים



# כּוּאִים אֵת הַאֻקוֹת

לפניך תרשים רמות אנרגיה של אטום הכספית



Energy levels for mercury

איור 22- דיאגרמת רמות אנרגיה של אטום הכספית

בהנחה שהאטום מעורר עד לרמה 9, כמתואר בתרשים. מצא את מעבר האנרגיה



המתאים לאור הירוק שמתקבל בספקטרום ( $\lambda=546.1\text{nm}$ ).

---



---

# כּוֹאִים אֵת הַאֵוִוּוּת



## 3.5 נורת פלורוסנט

נורת פלורוסנט היא נורת התפרקות הפועלת באופן דומה לנורות כמו נורת ניאון או נתרן שעליהן למדתם בפרק הקודם. את השפופרת הפלורוסנטית המציא אדמונד גרמר, ממציא גרמני, ב-1926. השפופרת שפיתח גרמר דומה מאוד למנורות הפלורוסנטיות המשמשות אותנו היום. בעבר נורות הפלורוסנט היו בצורת גליל דק ומוארך.



לימים הופיעו בשוק נורות פלורוסנט קומפקטיות.



פתחו את דף האינטרנט הבא - <http://nano.ort.org.il/?p=1848> ורדו למטה עד לכותרת "צריכת חשמל". עקבו אחר ההוראות וענו על שלושת השאלות שמופיעות אחרי הפעילות. **תזכורת:** KWh היא יחידת מידה של אנרגיה חשמלית.

איזו נורה היא בעלת נצילות גבוהה יותר? הסבירו.

---

---

---



החל משנת 2012 משרד האנרגיה והמים אסר על מכירת נורות להט ועודד קניית נורות פלורוסנטיות.

הסתכלו דרך הספקטרומטר על נורת פלורוסנט ונסו לתאר את הספקטרום. האם הוא רציף או בדיד? מה ההבדל בינו לבין ספקטרום של נורת להט? ומה ההבדל בינו לבין ספקטרום של נורת כספית?

---

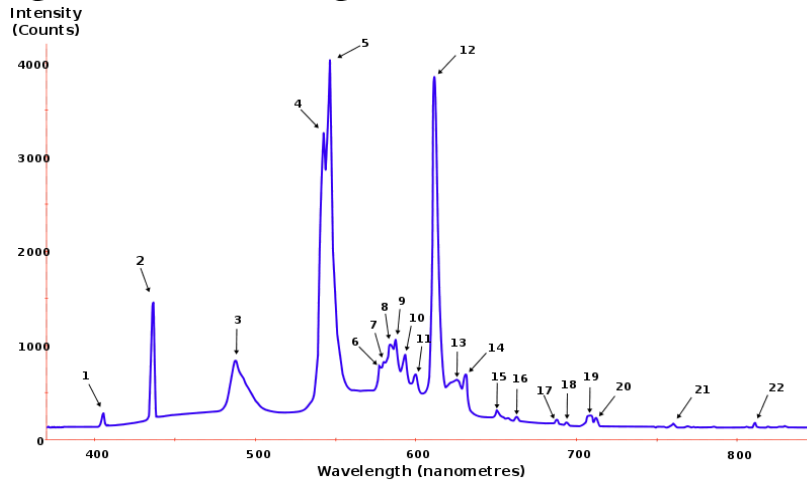
---



לפניכם גרף המתאר את ספקטרום הפליטה של הפלורוסנט- עוצמת האור נפלטת כפונקציה של אורך הגל. ה"פיקים" מסמנים את אורכי הגל הנפליטים בעוצמה גבוהה.



# רואים את האורות



איור 23- ספקרם הפליטה של נורת פלורוסנט

אנו רואים כי הספקטרום של נורת פלורוסנט נראה כמעט רציף. אך למעשה הוא ספקטרום בדיד שמכיל הרבה אורכי גל. נורת הפלורוסנט בנויה בדיוק כמו נורת פריקה עליה למדתם בפרק הקודם. למעשה, מדובר בנורת התפרקות עם אדי כספית בתוכה.

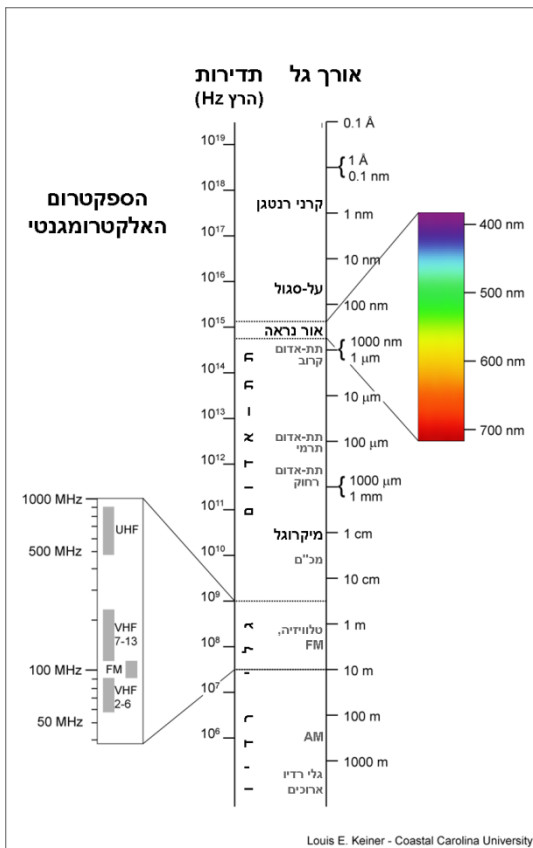
בפעילות הקודמת ראיתם את הספקטרום של נורת הכספית בעזרת היישומון הזה-

<https://phet.colorado.edu/en/simulation/discharge-lamps>

הסתכלו שוב ביישומון. בחרו בספקטרום נורת כספית (mercury) והתבוננו בספקטרום שהתקבל. בטבלה שלהלן נתונים אורכי הגל בעלי העוצמה הגבוהה ביותר שמתקבלים



בספקטרום. כתבו ליד כל אורך גל מהו תחום הקרינה המתאים בספקטרום האלקטרומגנטי. במידה ואורכי הגל שייכים לאור הנראה, כתבו את הצבע המתאים. העזרו בתרשים המצורף.



איור 24- הספקטרום האלקטרומגנטי

אורך הגל (nm)	תחום הקרינה בספקטרום האלקטרומגנטי
184.45	
253.7	
365.4	
404.7	
435.8	
546.1	
578.2	

# רואים את האורות

כפי שאתם רואים, נורת פלורוסנט פולטת קרינה בעיקר בתחום העל-סגול שאינו נראה לנו, בני האדם. אם כך, כיצד נורת הפלורוסנט מאירה באור נראה? ומה פשר קווי הפליטה הרבים הנראים בספקטרום?

לתהליך שמתרחש כעת קוראים פלורנסציה.



היעזרו בקישור וכתבו מהי פלורנסציה. (אין צורך לצפות בסרטון).

<http://davidson.weizmann.ac.il/online/maagarmada/physics/%D7%9E%D7%94%D7%99-%D7%A4%D7%9C%D7%95%D7%A8%D7%A1%D7%A0%D7%A6%D7%99%D7%94>

פלורנסציה:

בתהליך הפלורנסציה קרינה באורך גל נמוך (בעלת אנרגיה גבוהה) תיבלע ותיפלט כקרינה באורך גל גבוה (בעלת אנרגיה נמוכה). לכן קרינה על-סגולה שתפגע בחומר פלורוסנטי תיפלט כקרינה באור הנראה.

להרחבה (רשות) - תוכלו לצפות בסרטון (עד 10: 3 דקות)



<https://www.youtube.com/watch?t=191&v=vVij5CG-UUc>

הצד הפנימי של נורת הפלורוסנט מצופה בחומר זרחני (פלורוסנטי) הפולט אור נראה כתוצאה מעירור בעזרת אור אולטרא סגול. סוג החומר הפלורוסנטי המצפה את הנורה קובע את צבע וסוג הקרינה הנפלטת.

צפו בסרטון- איך עובדת נורת פלורוסנט?



<https://www.youtube.com/watch?v=xRTOC0AoTlc>

כעת נדבר קצת על תהליך הפלורנסציה בחיי היומיום שלנו. ישנם מוצרים בהם אנו משתמשים הכוללים בתוכם חומר פלורוסנטי (בדיוק כמו הזרחן בנורת הפלורוסנט).

למשל, בחולצות לבנות מכניסים היצרנים חומרים פלורוסנטיים.

מה קורה כאשר החולצות האלו נחשפות לאור אולטרא סגול? (למשל בהופעות בתנועות

נוער) הסבר.



השמש פולטת אף היא אור אולטרא סגול, לכן חולצות לבנות נראות לנו מבהיקות באור השמש.

# רואים את האורות

דוגמה נוספת- מחזירי אור שנמצאים על תיקים, שלטי דרכים ואפודים זוהרים מכילים (בין היתר) חומרים פלורוסנטיים.

הסבר את התהליך שמתרחש וכיצד הוא מסייע לשמירה על הבטיחות.



---

---

---

האם בלילה יבואו לידי ביטוי התכונות של החומרים הפלורוסנטיים? הסבר.



---

## יישומים נוספים:

השגת ראיות פורנזיות (ראיות מדעיות כגון- טביעות אצבע, DNA, סיבי בגדים וכד')- ניתן לגלות טביעות אצבעות בעזרת פיזור אבקה פלורוסנטית הנספגת בשומן שמותירות טביעות האצבע. על ידי הארתה באור על-סגול, טביעות האצבע זוהרות. באופן דומה ניתן לחשוף כתמי דם שנוגבו. כמו כן, סיבי בגדים מכילים לעיתים קרובות חומרים פלורוסנטיים, ולכן כאשר מאירים את זירת הפשע באור על-סגול, ניתן לגלות אותם.

קוסמטיקה- במוצרים קוסמטיים שנועדו להבהיר או ליצור מראה זוהר יותר (שמפו, קונדישינר, מייק אפ) מוכנסים חומרים פלורוסנטיים.

אבקות כביסה רבות מכילות חומרים פלורוסנטיים על מנת לתת תחושה של ניקיון וזוהר של הבגד שכובס.

# כואים את האורות

## 3.6 נורת LED (Light-Emitting Diode , דיודה פולטת אור)



נורות ה-LED הן נורות העתיד. נורות אלה צורכות 5% מכמות האנרגיה שצורכים גופי תאורה רגילים ומפחיתות ב-15% את פליטת הפחמן הדו חמצני וגזי החממה האחרים הכרוכים בייצור חשמל. ניק הולוניאק בנה את הדיודה פולטת האור הראשונה ב-1962, כשהיה חוקר במעבדות גנרל אלקטריק. הדיודה הראשונה פלטה רק אור אדום, אבל היום צאצאי הנורה של הולוניאק זוהרים בשלל צבעים.

לדיודות פולטות האור מגוון יישומים וניתן למצוא אותן במכשירים רבים. הן משמשות, בין היתר, לתאורת רמזורים, להארת הספרות של שעונים דיגיטליים מסוגים מסוימים, לשידור מידע בשלט רחוק, וכנוריות חיווי של מכשירים.



כדי להבין כיצד פועל נורת LED (דיודה פולטת אור) עלינו להבין קודם כל מהי דיודה. דיודה היא רכיב אלקטרוני המעביר זרם לכיוון אחד בלבד. דיודה עשויה מחומר "מוליך למחצה". חומר מוליך למחצה (באנגלית - Semiconductor) הינו חומר אשר תכונות ההולכה החשמלית שלו נמצאות בתחום הרחב שבין אלה של חומרים מוליכים (כגון נחושת) לבין אלה של חומרים מבודדים (כגון עץ). בשונה מהם, תכונות ההולכה של מוליך למחצה משתנות מאוד בתלות בגורמים חיצוניים כגון טמפרטורה, מתח חיצוני וחיפה לאור.

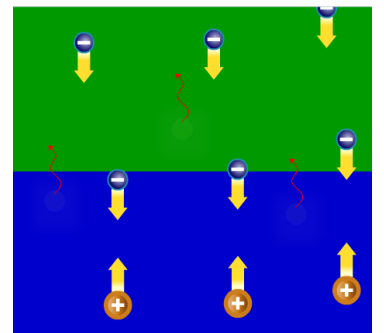
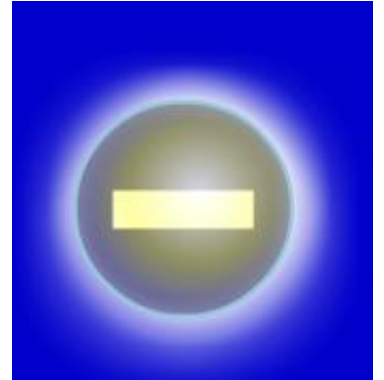
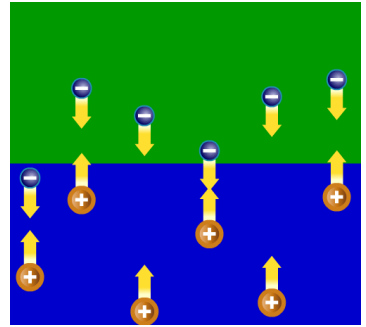
כדי לגרום לפליטת אור יצרו מהמוליכים למחצה האלה רכיבים שנקראים דיודות. דיודה היא צומת בין שני מוליכים למחצה – אחד עם עודף של אלקטרונים חופשיים והשני עם מחסור של אלקטרונים (הנקראים גם "חורים"). כשמפעילים מתח בין שני הקצוות נוצר זרם של אלקטרונים מהחומר שיש בו עודף אלקטרונים אל החומר שבו חסרים אלקטרונים. בעת המעבר, האנרגיה של האלקטרונים פוחתת והם פולטים אור.

כדי להבין קצת יותר את אופן הפעולה של ה-LED, צפו באנימציה המופיעה בקישור הבא - <http://nano.ort.org.il/?p=1870> תחת הכותרת "צפו כיצד פועלת דיודה פולטת אור?".



# כּוּוּאִים אֶת הַאֻוִּוּוּוּ

לפניך תמונות המתארות את התהליך המתרחש בדיודה הפולטת אור. כתוב במסגרת שליד כל תמונה משפט המתייחס לשלב אותו היא מתארת.



# רואים את האורות

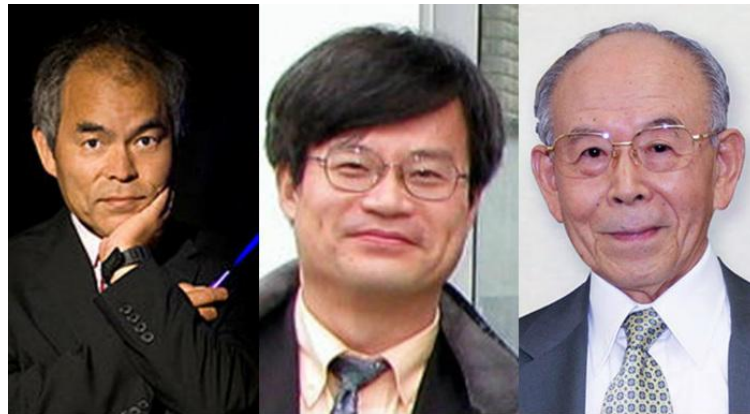


## פרס נובל

במשך השנים הושקעו מאמצים רבים ליצור אור לבן ממנורות לד, אך המשימה לא הייתה פשוטה. אור לבן אפשר ליצור משילוב של הצבעים ירוק, אדום וכחול. נורות לד אדומות וירוקות פותחו כבר בשנות ה-60, אך כשניסו לפתח גם נורות לד כחולות, התגלה שהמשימה הרבה יותר קשה. במשך קרוב לשני עשורים ניסו חוקרים ליצור דיודות שפולטות אור כחול – וכשלו. הקושי היה טמון בחומרים מהם עשויה נורת לד כחולה.

על מנת ליצור אור בצבע כחול היה צריך ליצור תרכובת של מוליכים למחצה עם פער אנרגיה גדול במיוחד. תהליך הייצור של תרכובות עם עודף או מחסור באלקטרונים, תוך שמירת הפער האנרגטי הגדול ביניהם, היה קשה מאוד מבחינה טכנולוגית. הראשון שהצליח להשיג פריצת דרך משמעותית בנושא היה פרופ' איסאמו אקסאקי (85) מאוניברסיטת נאגויה ביפן, שמצא בשנת 1990 דרך ליצור דיודה שפולטת אור כחול בטמפרטורת החדר.

בשנת 2014 זכו החוקרים היפנים איסאמו אקסאקי והירושי אמאנו מאוניברסיטת נגויה שביפן והחוקר האמריקני יליד יפן, שוגיי נקמורה, מאוניברסיטת קליפורניה שבארה"ב בפרס נובל. החוקרים זכו בנובל על פיתוח הLED הכחול. השיטה המקורית שפיתח אקסאקי לא התאימה לייצור מסחרי כיוון שתהליך הייצור של רכיבי הדיודה היו מורכבים ולא תמיד עלו יפה. יתר על כן, לא פעם גם לא היה ברור מדוע התהליך נכשל. נקמורה הצליח להסביר את האפקטים שקורים בנורות הLED הכחולות ופיתח תהליך חלופי שאפשר ייצור סדרתי שלהן. כמו כן, ייצור הLED הכחול איפשר גם ייצור של לד לבן, המשמש כיום כמקור אור נפוץ וחסכוני.



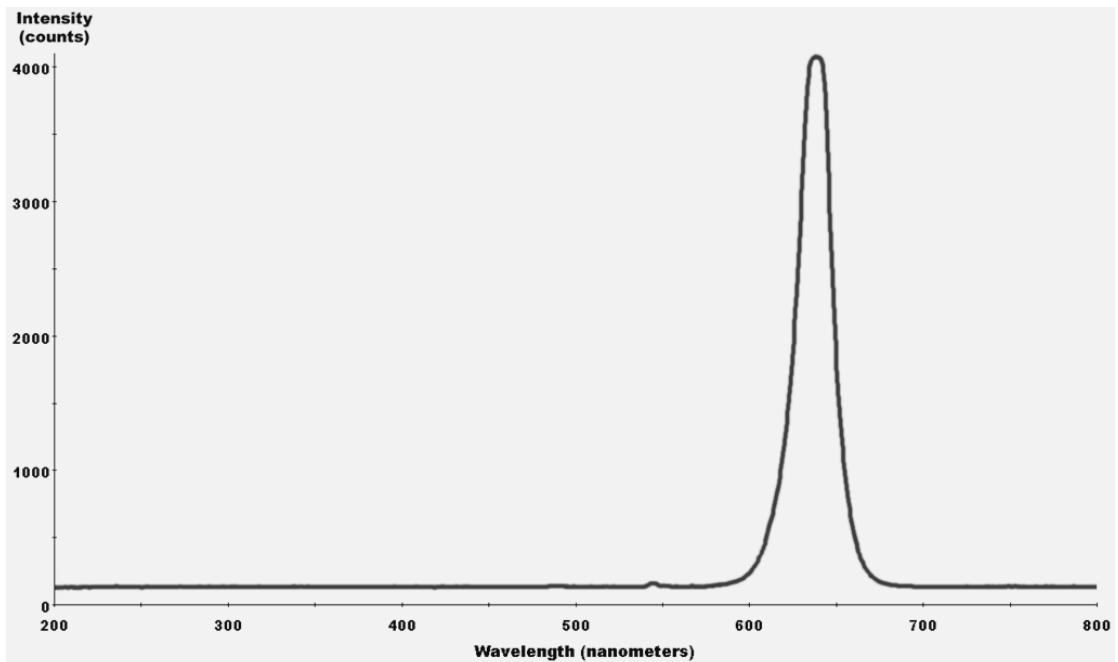
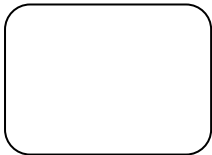
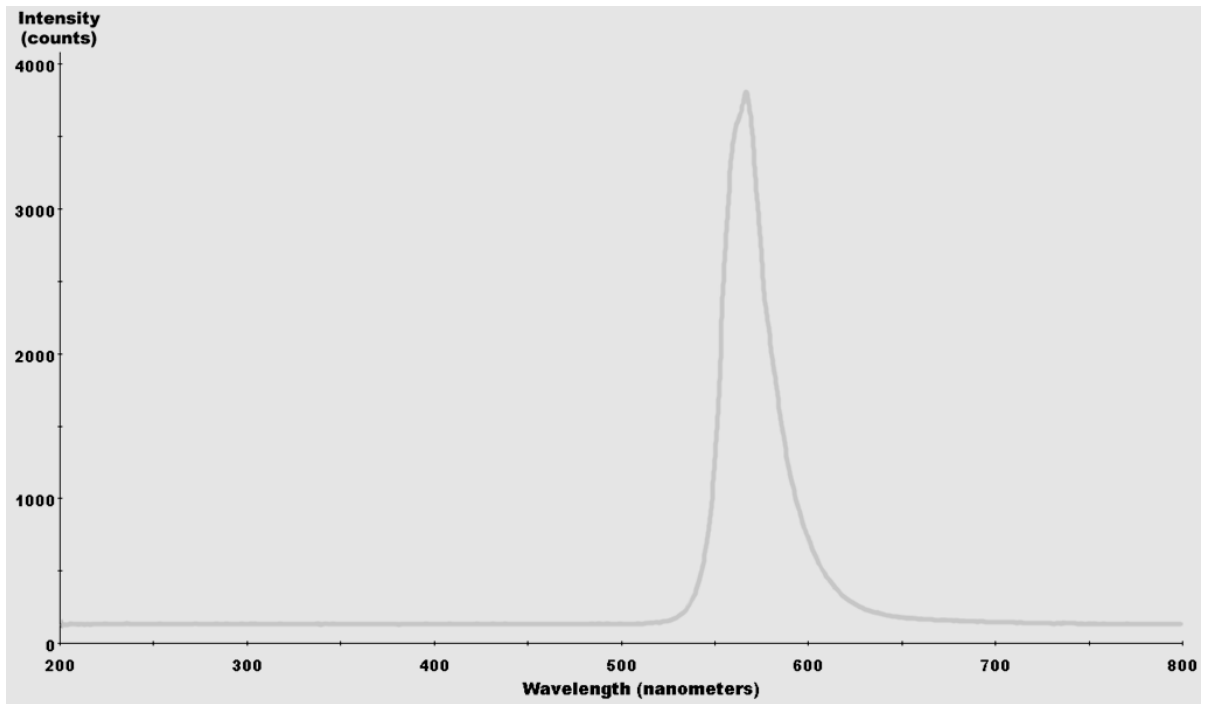
- זוכי פרס נובל 2014. מימין- אקסאקי, אמאנו ונקמורה 25 איור

להרחבה (רשות)- ניתן גם להאזין לכתבה ששודרה ברשת ב-

<http://www.iba.org.il/bet/?entity=1046254&type=286>

# לואים את האורות

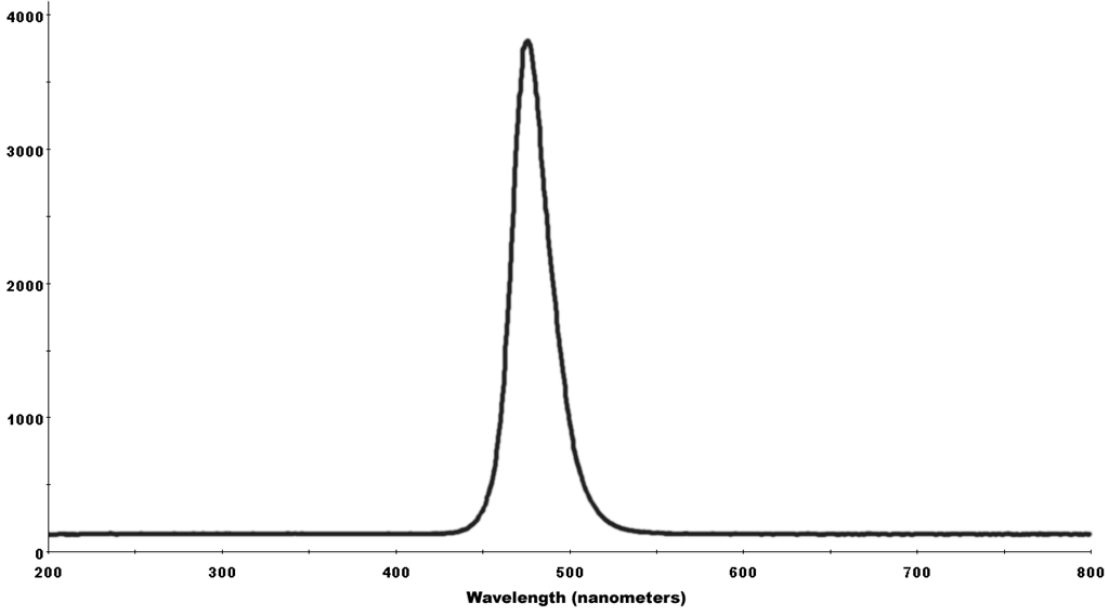
לפניך תמונות של ספקטרום של נורות לד שונות.  
קבע איזה ספקטרום מתאים לנורת לד המפיצה אור אדום / כחול / ירוק. כתוב את  
קביעתך במסגרת המתאימה.





# כואים את האורות

Intensity (counts)



לפניך ספקטרום של נורת לד לבן.



האם תוכל להסביר את צורתו? (רמז: מצא את הצבעים שהספקטרום מכיל על פי אורכי הגל

המופיעים בספקטרום)

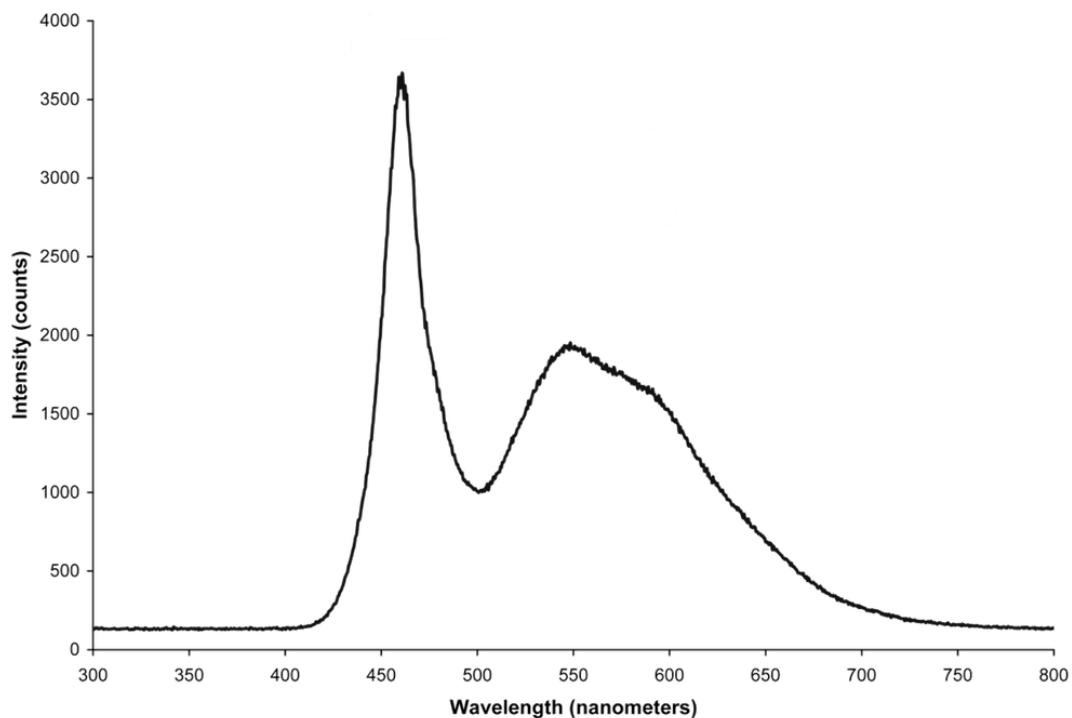
---



---



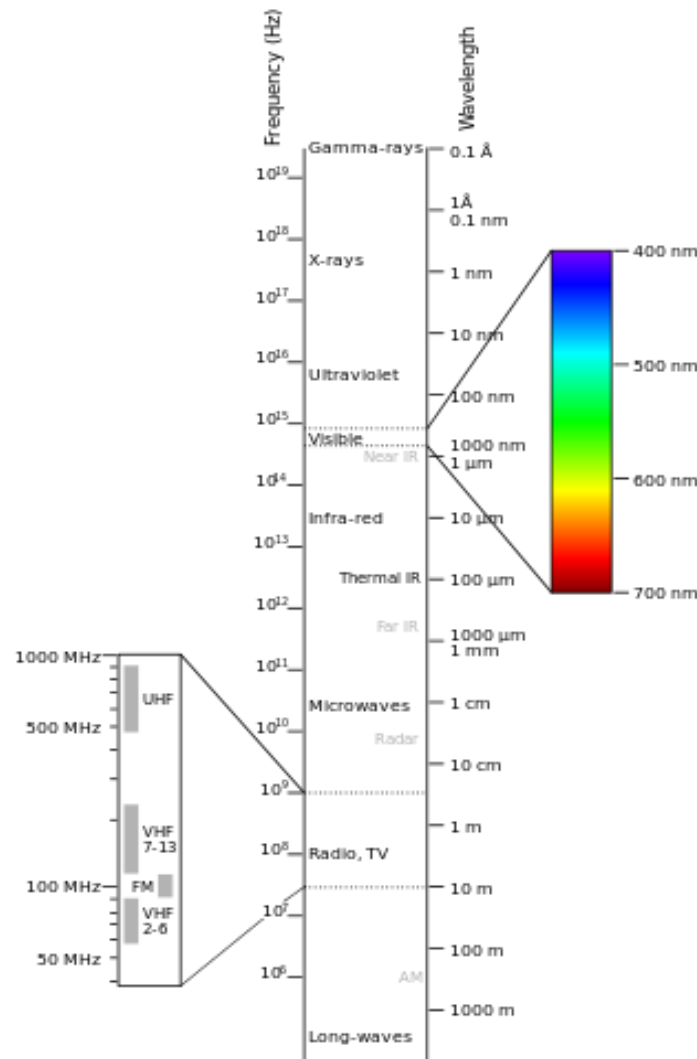
---



## 3.7 ספקטרוסקופיה

### 3.7.1 מדריך למורה

ספקטרוסקופיה הוא תחום מחקר שבו נמדד ספקטרום של רמות אנרגיה או ספקטרום של תדרי קרינה אלקטרומגנטית, כמו למשל תדרי אור. שיטות ספקטרליות נפוצות בתחומי מחקר רבים של הכימיה, הפיזיקה, האסטרונומיה והביולוגיה, והן לזיהוי חומרים. המכשיר המשמש לספקטרוסקופיה קרוי ספקטרומטר והוא מאפשר את הפרדת הקרינה לאורכי הגל מהם היא מורכבת, באמצעים שונים כגון- מנסרה, סריג עקיפה או אלמנט הולוגרפי. הספקטרום נבדק במספר טווחים- קרני X ואולטרא סגול, אור נראה וגלי רדיו (תמונה של אורכי הגל). ניתן לחקור הן ספקטרום פליטה והן ספקטרום בליעה של חומר מסויים, ההחלטה איזה ספקטרום לחקור נקבעת בסוף לפי שיקולים פרקטיים.



איור 26- הספקטרום האלקטרומגנטי

## שימושים-

### • חקר כוכבים ומרכיביהם-

באמצעות ספקטרוסקופיה ניתן לגלות מידע חשוב אודות כוכבים וגלקסיות רחוקות וכמו כן במערכת השמש, כגון- הרכב כימי, טמפרטורה, מסה, מרחק, עוצמת הארה ועוד. ניתן לקבל ספקטרום בליעה של הכוכב ולהשוותו לספקטרום פליטה של גזים ידועים וכך לקבוע את ההרכב הכימי של הכוכב.

להרחבה- [https://en.wikipedia.org/wiki/Astronomical\\_spectroscopy](https://en.wikipedia.org/wiki/Astronomical_spectroscopy)

באמצעות צילום כוכבים באורכי גל שונים, ניתן לגלות מידע רב אודות פני השטח של הכוכב והאטמוספירה שלו, מכיוון שכל אורך גל נותן מידע על רכיבים שונים ועל טמפרטורה שונה.

לדוגמא- צילום השמש באורכי גל שונים (כולל סרטון)-

[/http://svs.gsfc.nasa.gov/vis/a010000/a011300/a011385](http://svs.gsfc.nasa.gov/vis/a010000/a011300/a011385)

### • מדידת ספקטרום בליעה/פליטה של אור השמש העובר דרך האטמוספירה כדור הארץ

באמצעות מדידת ספקטרום פליטה ובליעה של אור השמש, ניתן לזהות שינויים בהרכב האטמוספירה, כגון- נוכחות גזי חממה, הידלדלות שכבות האוזון באטמוספירה וכד'. כמו כן, באמצעות קבלת ספקטרום הפליטה של האור הנוצר בזוהר הקוטב, ניתן לגלות מידע אודות אטומים המרכיבים את האטמוספירה העליונה.

להרחבה- <https://en.wikipedia.org/wiki/Aurora>

### • חישה מרחוק של צבע האוקיינוס-

לווייני תצפית מודדים את הקרינה המוחזרת מהקרקע והאוקיינוס ובאמצעות כך יכולים לקבל מידע לגבי פני השטח, תופעות אקלימיות, צמחה, יצורים חיים רוחות, מפל הים ומאפייני האוקיינוסים. באוקיינוסים לדוגמא, המים בולעים בעיקר אור בתחום האדום והאינפרא אדום ומחזירים אור בתחום הכחול. חומרים שונים הנמצאים במים בולעים ומחזירים אורכי גל בתחומים נוספים, ולכן צבע המים בנוכחותם משתנה. חישה מרחוק של צבע האוקיינוס מאפשרת לקבל מידע על נוכחות חומרים שונים במים, בעיקר פריחת אצות ונוכחות פיטופלנקטון (סוג של אצות). כך מתאפשר מעקב וניטור של מערכות אקולוגיות ימיות.

להרחבה- [https://en.wikipedia.org/wiki/Ocean\\_color](https://en.wikipedia.org/wiki/Ocean_color)

### • בדיקת עכירות תמיסה-

במיקרוביולוגיה ובביוכימיה משמשת הספקטרוסקופיה לעתים קרובות לא לזיהוי ישיר של חומרים, אלא לזיהוי עקיף של מספר גורמים אחרים:

נוכחות מיקרואורגניזמים (חיידקים בעיקר) בתמיסה- חיידקים גורמים לעכירות בתמיסה, אותה ניתן למדוד בצורה מדויקת בעזרת הספקטרומטר ולחשב בצורה מדויקת למדי את ריכוז החיידקים בתמיסה. גם חיידקים מתים גורמים לעכירות. לעומת זאת, חיידקים מתים שדופן התא שלהם התפרק אינם גורמים לעכירות. בעובדה זו משתמשים לעתים קרובות בבדיקת



# כואים את האיות

ההשפעה של אנטיביוטיקה על חיידקים, שכן סוגים רבים של אנטיביוטיקה גורמים לפירוק דופן התא.

פעילות אנזימטית - כשאנזים מזרז תגובה כימית שבסופה נוצר חומר מסוים הגורם לעכירות או לשינוי צבע או כושר הספיגה של התמיסה, ניתן למדוד זאת בצורה מדויקת בעזרת הספקטרומטר. בדרך-כלל מבוצעת מדידה כל פרק זמן מסוים. השינוי בעכירות כתלות בזמן נרשם על גרף, וממנו ניתן להסיק נתונים על אופי פעילות האנזים.

# לואים את האורות

## 3.7.2 מצגת להוראה בכיתה

### ספקטרומטר

המכשיר המשמש לספקטרוסקופיה קרוי ספקטרומטר והוא מאפשר את הפרדת הקרינה לאורכי הגל מהם היא מורכבת, באמצעים שונים כגון- מנסרה, סריג עקיפה או אלמנט הולוגרפי.

### מהי ספקטרוסקופיה?

תחום מחקר שבו נמדד ספקטרום של רמות אנרגיה או ספקטרום של תדרי קרינה אלקטרומגנטית.

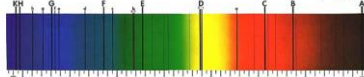
שיטות ספקטרוסקופיות נפוצות בכימיה, בפיזיקה ובביולוגיה, והן משמשות פעמים רבות לזיהוי חומרים.

### ספקטרוסקופיה

לסיכום מערך השיעורים "לואים את האורות"

### שימושים

חקר כוכבים ומרכיביהם- ניתן לגלות מידע חשוב אודות כוכבים וגלקסיות רחוקות, כגון- הרכב כימי, טמפרטורה, מסה, מרחק, עוצמת הארה ועוד.

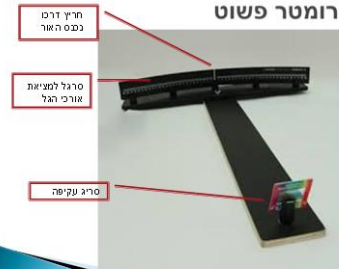


בתמונה- קווי פרינהאופר, קווי בליעה שהתקבלו בספקטרום השמש

### ספקטרומטר מקצועי



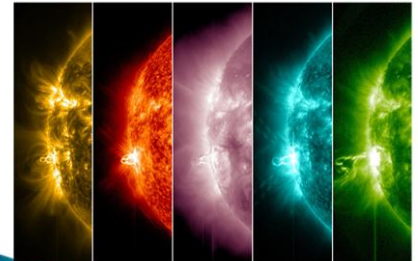
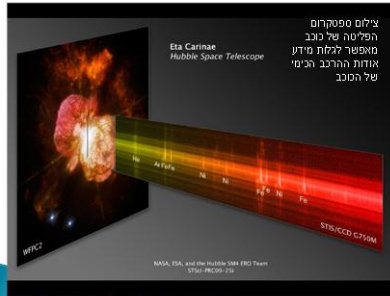
### ספקטרומטר פשוט



### שימושים

מדידת ספקטרום בליעה/פליטה של אור השמש העובר דרך האטמוספירה- באמצעות מדידת ספקטרום פליטה ובליעה של אור השמש, ניתן לזהות שינויים בהרכב האטמוספירה, כגון- נוכחות גזי חממה, הידלדלות שכבות האוזון באטמוספירה וכד'.

### הרכב כוכב



התפרצות בשמש באורכי גל שונים SDO/NASA

### שימושים

בדיקת עכירות וריכוז של תמיסות במיקרוביולוגיה ובכימיה משמשת הספקטרוסקופיה לעתים קרובות לזיהוי עקקי של מספר גורמים אחרים:

- נוכחות מיקרואורגניזמים (חיידקים בעיקר) בתמיסה
- פעילות אנזימטית

### שימושים

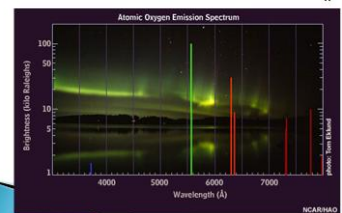
חישה מרחוק של צבע האוקיינוס- לוייני תצפית מודדים את הקרינה המוחזרת מהאוקיינוס ובאמצעות כך יכולים לקבל מידע לגבי יצורים חיים ושינויים חיים הנמצאים באוקיינוס.

בתמונה- פריחה של פיטופלקטון ממין Emiliania huxleyi. זהו הוא שקוף וחסר צבע, אך עשוי מקלציט, שגורם לשיבירה יעילה של האור- כך מתקבל הצבע הבהיר. לעתים הפריחה היא כהה ורבתה, שניתן להבחין בה מהחלל.



### שימושים

מחקר זוהר הקוטב צבע הירוק-חמצן אטומי חנקן - אדום, כחול וסגול



# רואים את האורות



## 3.8 דף תשובות

### 3.8.1 נורת להט

כפי שכבר ראיתם (ואם עדיין לא ראיתם, התבוננו כעת) ספקטרום הפליטה של נורת הלהט הוא ספקטרום רציף רציף/בדיד.

וענו- על אילו תכונות של הקרינה האלקטרומגנטית משפיעה הטמפרטורה של הגוף?

- (1) עוצמת הקרינה הנפלטת.
- (2) אורך הגל הנפלט בעוצמה מקסימלית.



בסרטון הראשון אותו ראינו, מדגים המנחה כיצד משתנה צבע האור הנפלט מנורת הלהט כאשר הוא משנה את עוצמת הזרם. כעת, תוכלו להסביר מדוע זה מתרחש?



כאשר משנים את עוצמת הזרם משתנה הטמפרטורה של חוט הלהט וכתוצאה משינוי הטמפרטורה משתנים גם אורכי הגל הנפלטים בעוצמה מקסימלית. ככל שעוצמת הזרם גדולה יותר, הטמפרטורה של חוט הלהט גבוהה יותר, אורכי הגל הנפלטים בעוצמה מקסימלית קצרים יותר והאור משתנה בהדרגה מאדום לכתום ולצהוב.

מחוק וויין ניתן לראות כי ככל שהטמפרטורה של הגוף גבוהה יותר אורך הגל הנפלט בעוצמה המקסימלית קצר יותר.



מחוק סטפן בולצמן ניתן לראות כי ככל שהטמפרטורה של הגוף גבוהה יותר, עוצמת הקרינה הנפלטת מהגוף חזקה יותר.



Sirius - הטמפרטורה על פי הספרות: 9,900 K

Arcturus - הטמפרטורה על פי הספרות: 4,300 K

Antares - הטמפרטורה על פי הספרות: 5,300 K

Capella - הטמפרטורה על פי הספרות: 3,500 K

# רואים את האורות



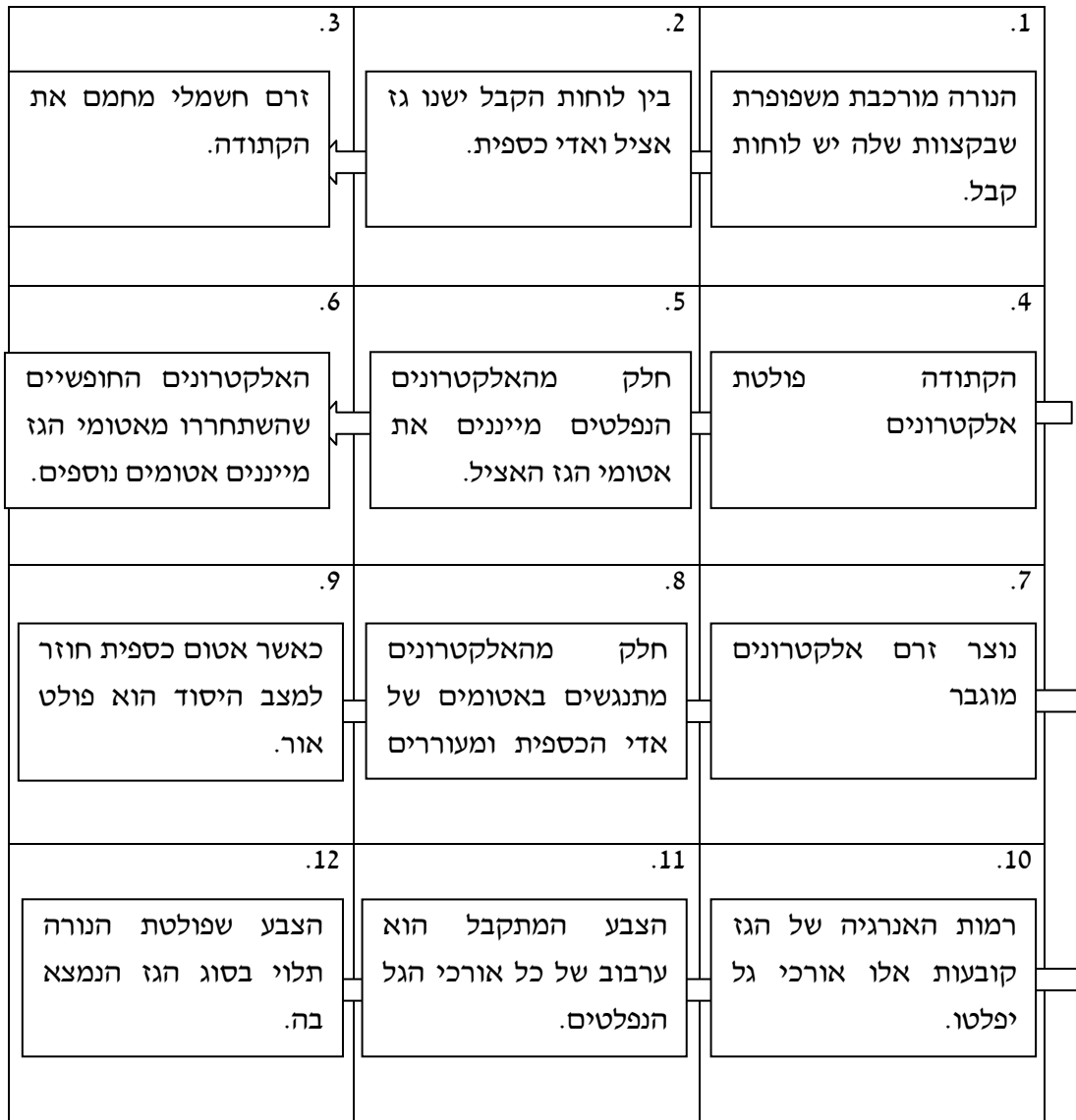
3.8.2 נורות פריקה

אם התבוננתם בספקטרום הפליטה של נורות מעין אלה, בוודאי שמתם לב כי ספקטרום הפליטה שלהן הוא בדיד רציף/בדיד.



- תאר את מודל האטום של בוהר. האטום מתואר כגרעין הטעון מטען חשמלי חיובי, שמסביבו מסתובבים אלקטרונים במסלולים סגורים. האלקטרון יכול לנוע סביב הגרעין במסלולים מעגליים בעלי רדיוסים מוגדרים. אלקטרון שנע במסלול מותר, אינו פולט קרינה אלקטרומגנטית ולכן המסלול שלו יציב.  
לא כל מסלול אפשרי, אלא רק מסלולים שבהם התנע הזוויתי של האלקטרונים מהווה כפולה שלמה של קבוע פלאנק המצומצם (המסומן לרוב ב- $\hbar$ ). מעבר האלקטרון בין מסלול למסלול (כלומר בין רמות אנרגיה) הוא מיידי ומלווה בפליטה או בבליעה של פוטון - מנה (קוונטה) של קרינה אלקטרומגנטית.
- הסבר מהו אטום מעורר. אטום מעורר הוא אטום שהאלקטרונים שלו מעוררים. כלומר, האלקטרונים שלו נמצאים ברמת אנרגיה הגבוהה יותר מרמת היסוד.
- כיצד הופך אטום ברמת היסוד לאטום מעורר? ציין שתי דרכים שונות וכתוב מה ההבדל ביניהן.  
1. עירור האלקטרון על ידי פגיעת חלקיק 2. עירור האלקטרון על ידי פגיעת פוטון. ההבדל ביניהם - כשהחלקיק פוגע באטום הוא מעביר חלק מהאנרגיה הקינטית שלו לאטום ומאבד בדיוק את האנרגיה שמסר לאלקטרון הקשור. לעומת זאת הפוטון פועל בשיטה של הכול או כלום. אם האנרגיה של הפוטון מתאימה בדיוק להפרש האנרגיה בין שתי הרמות, הפוטון מוסר את כל האנרגיה שלו לאלקטרון הקשור, נבלע ונעלם. אם האנרגיה לא מתאימה בדיוק להפרש האנרגיה בין שתי הרמות, הפוטון לא מוסר אנרגיה בכלל.
- מה קורה לאטום כאשר הוא מעורר? אטום מעורר חוזר לרמת היסוד שלו תוך כדי פליטת פוטון (או פוטונים).

# כוואים את האויות



נורת נתרן (Sodium)	נורת כספית (Mercury)	
צהוב-כתום	תכלת-כחול	הצבע בו מאירה הנורה
2	5	מספר קווים ספקטרליים
587nm,615nm	405nm,435nm,545nm,575nm,680nm	אורכי הגל של הקווים

# כוואים אית האוקיות

בהנחה שהאטום מעורר עד לרמה 9, כמתואר בתרשים. מצא את מעבר האנרגיה המתאים לאור הירוק שמתקבל בספקטרום ( $\lambda=546.1\text{nm}$ ).

בעזרת הנוסחה -  $E(\text{ev}) = \frac{1240}{\lambda(\text{nm})}$  אפשר לחשב את אנרגיית הפוטון הנפלט, ומכאן אפשר

לראות כי האנרגיה שלו שווה להפרש האנרגיה בין רמת האנרגיה החמישית לרמת האנרגיה השלישית.

# רואים את האורות



3.8.3 נורת פלורוסנט

איזו נורה היא בעלת נצילות גבוהה יותר? הסבירו. נורת הפלורוסנט בעלת נצילות גבוהה



יותר, עבור אותה כמות אור יש להשקיע פחות אנרגיה.

הסתכלו דרך הספקטרומטר על נורת פלורוסנט ונסו לתאר את הספקטרום. האם הוא רציף או בדיד? מה ההבדל בינו לבין ספקטרום של נורת להט? ומה ההבדל בינו לבין ספקטרום של נורת כספית?



רואים בספקטרום של נורת פלורוסנט קווים שמתאימים לאורכי גל שונים, יש אזורים בהם הם נראים כמעט רציפים ויש אזורים בהם הם נראים יותר בדידים. ספקטרום נורת להט הוא רציף בכל הספקטרום והספקטרום של נורת כספית הוא בדיד ומכיל קווים 4 ספקטרלים בתחום הנראה.

תחום הקרינה בספקטרום האלקטרומגנטי	אורך הגל (nm)
אולטרא סגול	184.45
אולטרא סגול	253.7
אולטרא סגול	365.4
סגול	404.7
כחול	435.8
ירוק	546.1
צהוב-כתום	578.2

פלורנסציה: פלורנסציה היא האור הנפלט מאטום בעקבות עירורו. העירור גורם לאלקטרונים לעלות לרמת אנרגיה גבוהה, ואשר הם יורדים חזרה נפלט אור בעל אנרגיה



נמוכה מזו שקיבל האטום.

מה קורה כאשר החולצות האלו נחשפות לאור אולטרא סגול? (למשל בהופעות בתנועות נוער) הסבר. כאשר החולצות נחשפות לאור אולטרא סגול מתרחש תהליך הפלורנסציה



והחולצות פולטות אור בתחום הנראה ולכן הן בולטות ונראה שהן מאירות.

הסבר את התהליך שמתרחש וכיצד הוא מסייע לשמירה על הבטיחות. הקרינה המגיעה מהשמש כולל גם קרינה אולטרא סגולה. כאשר קרינה זו פוגעת החומר



# כוואים אית האויות

פלורוסנטי הנמצא בשלטים, אפודים זוהרים וכו' היא מעוררת את האטומים שלו ולכן נפלט אור

בתחום הנראה. תהליך זה גורם לחפצים אלו להאיר באור חזק ולבלוט וכך מסייע למניעת

תאונות ולבטיחות רבה יותר.

האם בלילה יבואו לידי ביטוי התכונות של החומרים הפלורוסנטיים? הסבר. לא, כיוון שבלילה לא

מגיעה קרינה מהשמש ולכן לא מגיעה קרינה אולטרא סגול ותהליך הפלורוסנציה לא יכול

להתרחש.

# כואים את האויות

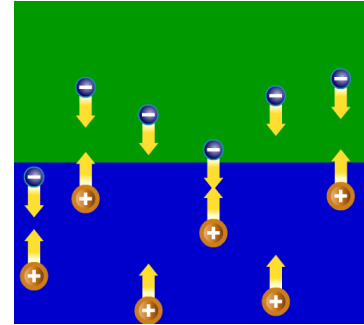
## 3.8.4 דף תשובות - נורת LED



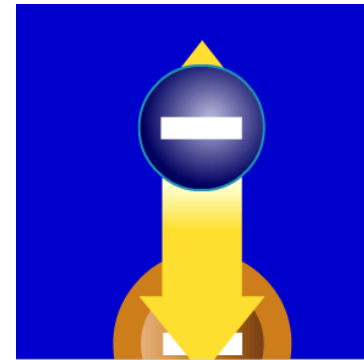
לפניך תמונות המתארות את התהליך המתרחש בדיודה הפולטת אור. כתוב במסגרת שליד כל תמונה משפט המתייחס לשלב אותו היא מתארת.



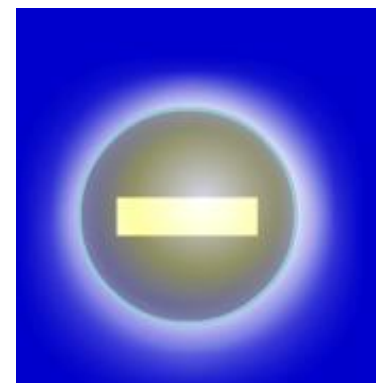
כאשר מפעילים מתח בין שני הקצוות נוצר זרם של אלקטרונים, שמטענם שלילי, מהחומר שיש בו עודף אלקטרונים אל החומר שבו חסרים אלקטרונים וזרם של חורים (מקומות שחסר בהם אלקטרונים), הטעונים חיובית,



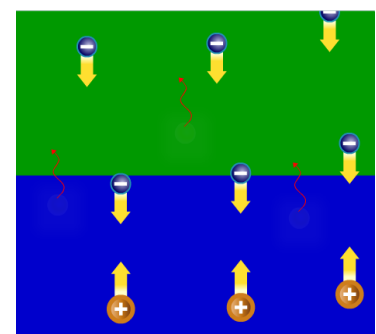
האלקטרון נופל לתוך החור החיובי. החור החיובי מתקיים ברמת אנרגיה נמוכה מזו של האלקטרון.



המטען החשמלי של האלקטרון מנוטרל והוא פורק אנרגיה שנשא.



האנרגיה שהאלקטרון פורק נפלטת בצורת פוטון- חלקיק אור.



# כוואים את האויות

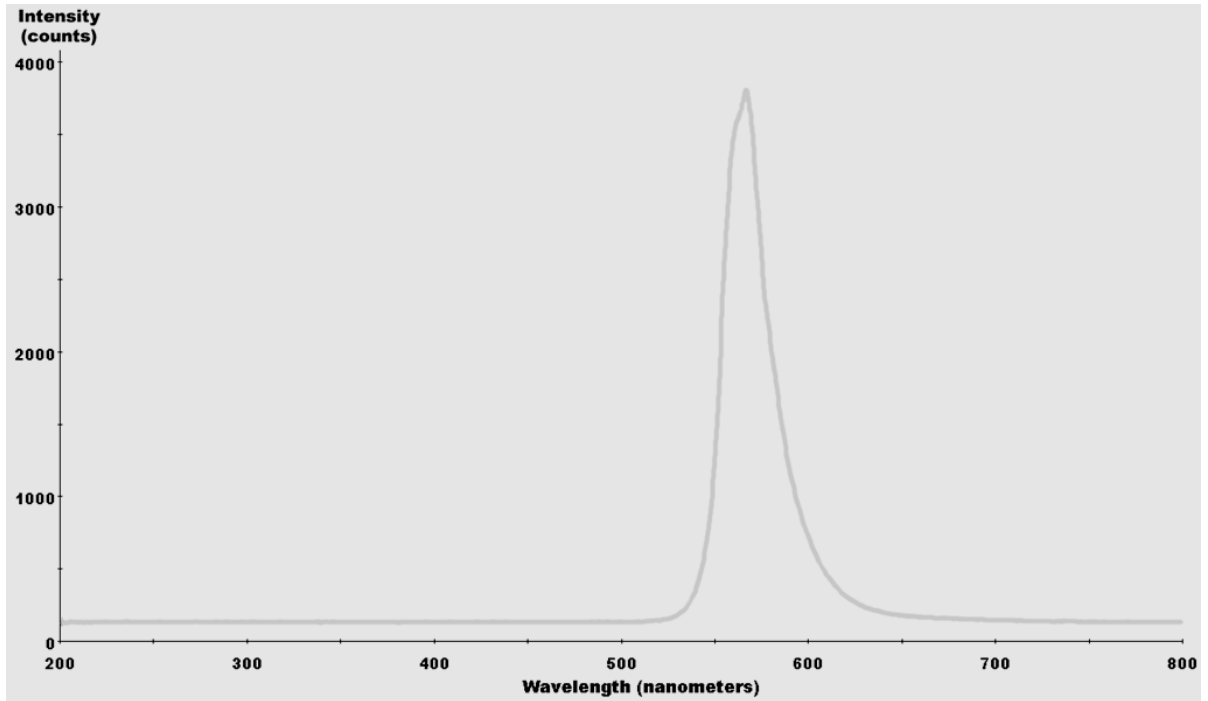
לפניך תמונות של ספקטרום של נורות לד שונות.

קבע איזה ספקטרום מתאים לנורת לד המפיצה אור אדום / כחול / ירוק. כתוב את

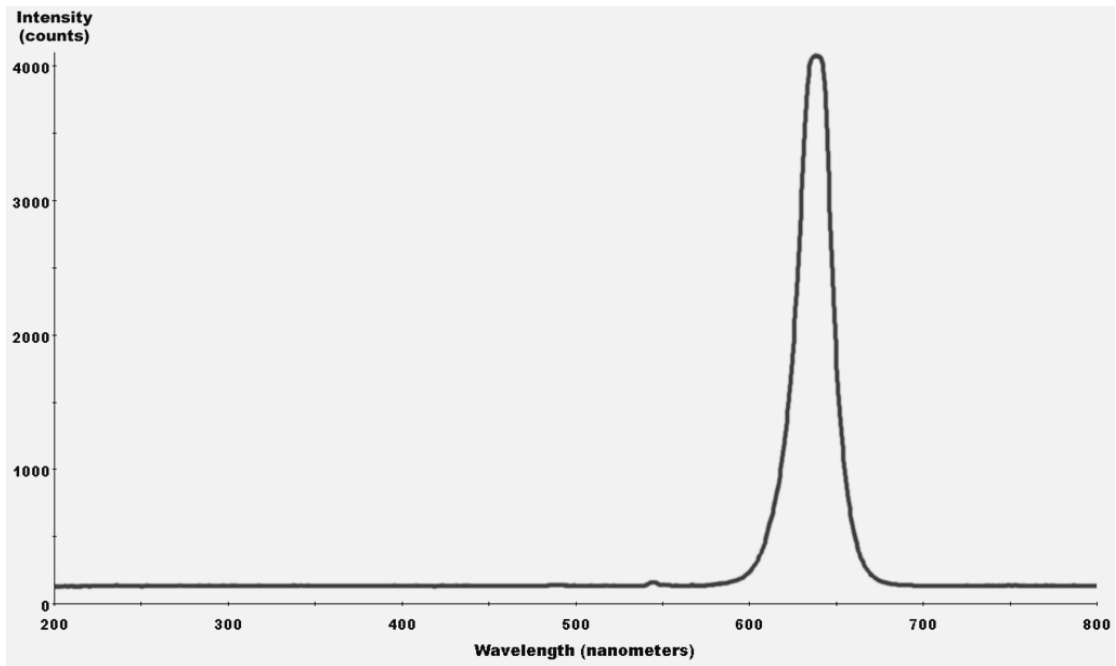


קביעתך במסגרת המתאימה. אדום

ירוק



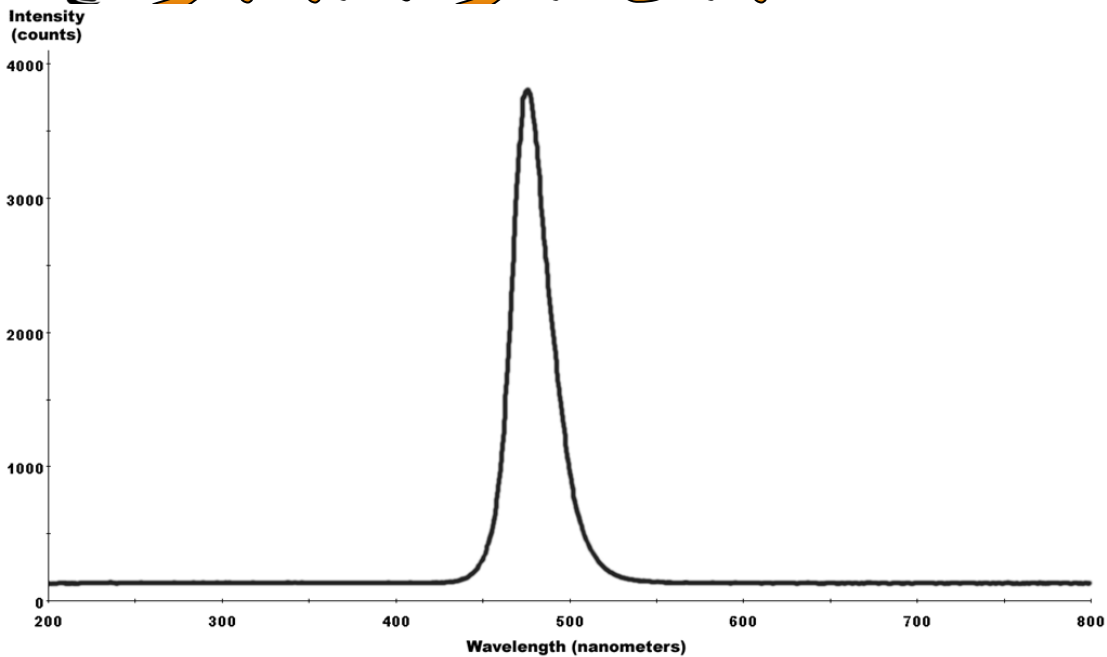
אדום





# כואים את האורות

כחול

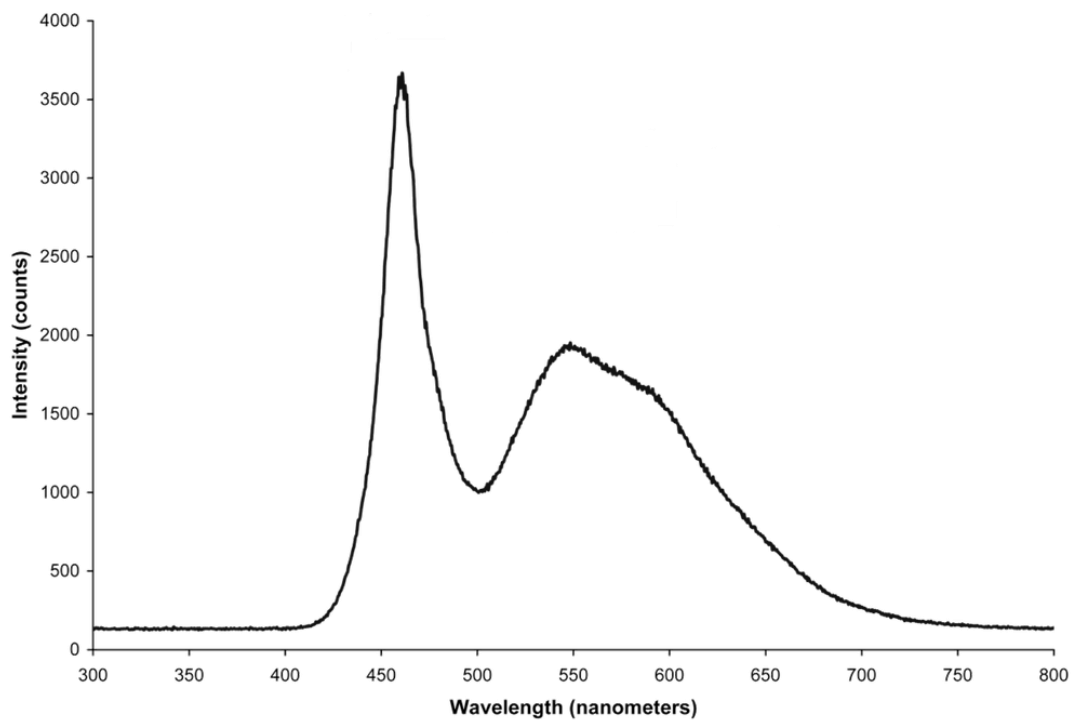


לפניך ספקטרום של נורת לד לבן.



האם תוכל להסביר את צורתו? הספקטרום של נורת לד לבן היא שילוב של שלושת

הספקטרומים - של נורת לד כחולה, ירוקה ואדומה.



# כוואים את האויות

## סיכום

במהלך לימודינו נחשפנו לעבודה עם ספקטרומטר, למדנו לכייל אותו ולעבד את הנתונים המתקבלים ממנו. ראינו כיצד ספקטרה פליטה ובליעה המצויים בספרות אכן מתקבלים במעבדה. ניסיוננו זה המחיש והבהיר לנו את אחד הפרקים שאנחנו מלמדות במסגרת בחינת הבגרות של "קרינה וחומר".

מעט מהחוויה שחווינו רצינו להעביר הלאה – למורים נוספים ודרכם לתלמידים. עשינו זאת בעזרת פיתוח יחידת לימוד הפותחת בבניית ספקטרוסקופ ביתי ולאחר צפייה בספקטרה שונים, התמקדנו בארבע סוגים של מקורות אור- נורת להט, נורת פריקה, פלורוסנט ונורת LED.

לסיום וסיכום היחידה, בנינו מצגת המסבירה שימושים שונים של ספקטרוסקופיה בעולם המדע והמחקר.

מבחינתנו, היה זה ניסיון ראשון בבניית יחידת לימוד רחבה ומקיפה. היתה זו התנסות מרתקת ומלמדת.

אנו מודות על ההזדמנות שניתנה לנו הן בביצוע הניסויים במעבדת הפלזמה במכון ויצמן והן על האתגר בפיתוח יחידת הלימוד.





%D7%94%D7%90%D7%98%D7%95%D7%9D-  
%D7%95%D7%9E%D7%9B%D7%A0%D7%99%D7%A7%D7%AA-  
/%D7%94%D7%A7%D7%95%D7%95%D7%A0%D7%98%D7%99%D7%9D

נרת להט . <https://www.mada.org.il/game/nura.html>

ננוטכנולוגיה- נרות . <http://nano.ort.org.il/?p=1813>

סטולר, א'. (2007). קורס ראיות מדעיות.

ספקטרוסקופיה.

[https://he.wikipedia.org/wiki/%D7%A1%D7%A4%D7%A7%D7%98%D7%A8%](https://he.wikipedia.org/wiki/%D7%A1%D7%A4%D7%A7%D7%98%D7%A8%D7%95%D7%A1%D7%A7%D7%95%D7%A4%D7%99%D7%94)

[D7%95%D7%A1%D7%A7%D7%95%D7%A4%D7%99%D7%94](https://he.wikipedia.org/wiki/%D7%A1%D7%A4%D7%A7%D7%98%D7%A8%D7%95%D7%A1%D7%A7%D7%95%D7%A4%D7%99%D7%94)

סקר הסטורי-התפתחות מודל האטום . [http://stwww.weizmann.ac.il/g-junior/tech-](http://stwww.weizmann.ac.il/g-junior/tech-center/teachers/matherials-edna-loebel/jigsaw.htm)

[center/teachers/matherials-edna-loebel/jigsaw.htm](http://stwww.weizmann.ac.il/g-junior/tech-center/teachers/matherials-edna-loebel/jigsaw.htm)

פלורסנציה . <http://eureka.org.il/item/15016>

קרינת גוף שחור .

[http://davidson.weizmann.ac.il/online/tikshuv/physics/%D7%A7%D7%A8%D](http://davidson.weizmann.ac.il/online/tikshuv/physics/%D7%A7%D7%A8%D7%99%D7%A0%D7%AA-%D7%92%D7%95%D7%A3-%D7%A9%D7%97%D7%95%D7%A8)

[7%99%D7%A0%D7%AA-%D7%92%D7%95%D7%A3-](http://davidson.weizmann.ac.il/online/tikshuv/physics/%D7%A7%D7%A8%D7%99%D7%A0%D7%AA-%D7%92%D7%95%D7%A3-%D7%A9%D7%97%D7%95%D7%A8)

[%D7%A9%D7%97%D7%95%D7%A8](http://davidson.weizmann.ac.il/online/tikshuv/physics/%D7%A7%D7%A8%D7%99%D7%A0%D7%AA-%D7%92%D7%95%D7%A3-%D7%A9%D7%97%D7%95%D7%A8)