

קורס ספקטרוסקופיה, תשע"ג

פרופ' רון נעמן

מיפוי תכנים של הרצאה 12

המיפוי נעשה על ידי מירב דינור בהנחיית פרופ' רון בלונדר

תוכן	זמן
טמפרטורה- בעלת משמעות במערכת גדולה, מתאר את חלוקת האנרגיה בין כל דרגות החופש במערכת במספר אחד.	5:35-5:55
דוגמא- בגוף יש המון מולקולות שיכולות לזוז בהמון אופני תנודה. ע"י הטמפ' של הגוף 37 ניתן לחשב כמה מולקולות נמצאות בכל אופן תנודה.	5:55-6:31
אוסילטור הרמוני (מציור על הלוח) מולקולה דו אטומית מתנדנדת- יש מצבים, המרחק בין המצבים שווה. המרחק ידוע ω (תדירות) עבור האוסילטור הזה המאופיין ע"י התדירות בטמפ' של 300 K מה יהיה האיכלוס היחסי של מצבים 0 1 ...	6:31-8:02
הדוגמא יכולה להתאים גם למולקולות אחרות. אנחנו יודעים שהאיכלוס באנרגיה נתונה הוא פרופורציוני להתפלגות בולצמן $P(E) e^{-E/KT}$	8:20-9:18
האיכלוס ברמת היסוד יהיה תמיד 1 (נירמול- תוצאה של הצבת 0 באקספוננט) האיכלוס ברמה 1 $P(1) e^{-\hbar\omega/KT}$ מצבים באקספוננט את האנרגיה של הויברציה הראשונה $\hbar\omega$.	9:45-10:51
מנרמלים הכל למצב 0. אם $T=0$ אפס המוחלט, ז"א שכל האיכלוס הוא במצב היסוד. לאיכלוס יש מקדם אבל הוא לא משנה לעניין האיכלוס היחסי.	11:48-12:35
הטמפ' קובעת מה יהיה האיכלוס בכל רמה.	12:41-12:43
דוגמא- בטמפ' 500 קלווין יהיה איכלוס שונה בכל מיני מצבים. (דוג' על הלוח)	12:56-13:57
ככל שהטמפ' יותר גבוהה יאוכלסו מצבי ויברציה יותר גבוהים התפלגות בולצמן היא הבסיס לאיכלוס לפי הטמפ'.	14:06-14:13
דוגמא- מולקולת מים- 3 ויברציו: כיפוף, מתיחה סימטרית ואנטי סימטרית. 3 ד"ח הן בלתי תלויות אם נדע את התדירות של כל ויברציה נוכל לחשב את האיכלוס של כל מצב באופן בלתי תלוי.	14:27-15:30
כאשר מתייחסים לטמפ' מניחים שהמערכת נמצאת בש"מ. דוג'- כאשר מחממים מוט, המוט חם אבל הוא לא נמצא בש"מ עם כל החדר (היקום), אבל אפשר להתייחס אליו כאל תת מערכת שנמצאת בש"מ לזמן מסוים. זהו קירוב והוא טוב. דוג' נוספת- כוס מים, אם מחממים אותה היא מגיעה לטמפ' של 100 אבל האוויר מסביב הוא לא ב 100, לכן מתייחסים למים כאל תת מערכת. בגלל הנוחות להשתמש בטמפ' כנתון אחד שנותן מידע על מערכת שלמה משתמשים בו לתאר תת מערכת (שלא נמצאת בש"מ עם היקום)	16:10-18:37
כשמכניסים אנרגיה עם אור למולקולה מעוררים את המולקולה. האנרגיה נכנסה לד"ח מסוימת שלא נמצאת בש"מ עם המערכת.	18:49-19:16
בגלל שד"ח לא תלויות, לכאורה אפשר להכניס אנרגיה ולעורר למצב	19:16-20:22

תוכן	זמן
אקטרוני ז או אחר, המערכת תשאר בה, או תפלוט אנרגיה ותחזור למצב המקורי.	
מעברים לא קרינתיים- קירוב בורן אופנהיימר לזמן קצר יכול להיות נכון, אבל אם מחכים הרבה זמן האנרגיה מתחילה לעבור.	20:22-20:44
ע"פ קירוב בורן אופנהיימר, אחרי שעוררנו הדבר היחיד שהמערכת יכולה לעשות זה לפלוט קרינה לחזור למצב המקורי. אבל בפועל בהרבה מערכות בימצב היסוד יש ויברציות שנמצאות "בגובה" המצב המעורר. (שירטוט על הלוח).	20:49-22:26
בגלל חוק שימור האנרגיה אנגיה עוברת לויברציות הגבוהות של מצב היסוד, ז"א אנרגיה אלקטרונית הומרה לאנרגיה ויברציונית.	
נר שחור, צבעוני ומאירים עליו- הוא מתחמם. הוא בלע אור ובמקום לפלוט אור האנרגיה עברה לויברציות, ויברציות זה אנרגית חום לכן הנייר מתחמם. זה גורם לעליית טמפ' בזמן של מיקרו שניות עד שאפשר להגיד שיש לנייר טמפ', ז"א שנת המערכת נייר, הגיעה לש"מ. לא ניתן לחוש בזמן הזה אבל ניתן למדוד אותו.	22:26-23:56
הסיבה שאנרגיה עוברת היא שקירוב בורן אופנהיימר לא טוב, וע"פ חוק שימור האנרגיה האנרגיה יכולה לעבור לרמות ויברציוניות גבוהות.	24:23-25:59
מעבר בין מערכות- עוברים בין מצבים אלקטרוניים שונים, תמיד מלווה במעבר לויברציה גבוהה יותר במצב אלקטרוני יותר נמוך.	
שאלה מהקהל- מדוע מתחילים מאנרגיה אלקטרונית ולא אנרגיה ויברציונית?	26:17-27:05
מעוררים עם אור, המעברים האלקטרוניים הם בהפרשי אנרגיה גבוהים שמתאימים לעירור עם אור.	
אם הגענו לויברציה גבוהה על פי בולצמן זו טמפ' מאוד גבוהה, כך המערכת נשאר?	
הגוף מתחמם- לפעמים הוא נעשה אדום (מתחיל לפלוט אור) ז"א הגוף מתחיל לפלוט חום. הפליטה של הויברציה היא באינפרא אדום פליטה של חום. ע"י גלאי ניתן לראות גופים חמים, לדוג' מכשירים לראיית לילה.	27:35-29:14
הדרך ליצור אינפרא אדום היא לחמם מוט פחם והוא פולט את הקרינה.	29:14-29:24
ההנחה היתה שד"ח הן בלתי תלויות, זה נבע מההנחה שד"ח כולן הן אוסילטור הרמוני. אבל כמו קפיץ שמותחים אותו חזק הוא לא יחזור למקומו, יש אנהרמוניות.	29:35-30:28
עבור מצבי ויברציה גבוהים ההנחה של אוסילטור הרמוני לא נכונה ולכן יש תלות בין ד"ח ויש זליגה של אנרגיה.	
דוגמא- קפיצים עם כדורים, מתחילים לנענע, בהתחלה אין השפעה, ולאחר זמן גם שאר המערכת תתחיל לנוע.	31:00-31:28
במערכת מכנית, ניתן לראות תנועה אם מחכים מספיק זמן.	31:54-32:09
מעבר בין מעברים במערכת נובע מכך שקירוב בורן אופנהיימר לא טוב. ומעבר בין ויברציות נובע מחוסר הרמוניות	32:29-32:44
תשובה לשאלה מהקהל- איך ניתן לבדוק ספקטרוסקופית את כל התהליך?	37:36-38:08
אם מצב זולג- זמן החיים שלו נעשה יותר קצר. חוק אי הודאות	
חוק אי הודאות- הדיוק בזמן * הדיוק באנרגיה < ח' קבוע. ז"א אם הזמן מתקצר האנרגיה מתארכת, ז"א מעבר אנרגיה רחב יותר,	38:22-39:38

תוכן	זמן
בזמן חיים קצר. במקום לקבל בספקטרום קו צר, מקבלים קו רחב, כיון שהיתה זליגה. רוחב הקו קובע את זמן החיים, בודקים את הזמן הצפוי לעומת מה שהתקבל	
כאשר המולקולה מתפרק- ההרחבה היא כ"כ גדולה, שלא רואים בכלל קווים בספקטרום.	39:49-40:02
לפעמים כאשר מקרינים גוף, הוא פולט אור לאחר הרבה זמן שניות ולפעמים שעות, בניגוד לעיקרון שפליטת אור מתרחשת בנו שניות.	40:16-40:57
מעברים אלקטרונים רגילים לוקחים ננו שניות. זמן ארוך בספקטרוסקופיה אומר מעבר אסור. לכאורה הוא לא היה צריך לקרות. פוספורסנציה- הקירוב של הספין הוא לא טוב. לאלקטרון יש ספין, מעבר אופטי של אלקטרון לא משנה את הספין.	41:39-43:19
בכל מצב יכולים להיות 2 אלקטרונים כיון שהם עם ספינים הפוכים $0 +1/2 -1/2$ סכום ספינים 0 זה סינגלט.	43:46-44:16
על פי החוק אלקטרון שעובר עירור נשאר באותו הספין ולכן גם סכום הספינים נשאר אותו דבר. בעירור אופטי מצב הספינים לא משתנה.	44:28-45:16
לפעמים לאלקטרון המצב המעורר מתהפך הספין, מתקבל סכום ספינים $1 / -1$ - מצב טריפלט. האלקטרון שהתהפך לו הספין לא יכול לחזור אז זמן החיים מתארך עד האלקטרון מקבל מכה נוספת מתהפך חזרה וכעת הוא יכול לחזור. אפקט הפוספורסנציה- מעבר ספין. איך זה קורה? בגלל תופעת צימוד ספין מסילה. דוגמא- פריזבי.	45:27-47:13
פריזבי- צלחת שמסתובבת ופוגעת בקיר מתפזרת וחוזרת. חלק מהצנע מהסיבוב הפך לתנע זוויתי. צימוד ספין מסילה של האלקטרון, כשהאלקטרון מסתובב סביב אטום הוא מתחכך עם אלקטרון אחר, ואז הספין יכול להתהפך. זה תלוי במספר האלקטרונים שיש באטום.. ככל שיש יותר אלקטרונים האפקט יותר גדול. לדוגמא- במולקולת יוד האפקט כ"כ משמעותי שהספין של האלקטרון משתנה כל הזמן. במולקולת מימן או פחמימנים זה כמעט לא קורה.	47:59-49:51
זרחן- אטום כבד ולכן גם בו מתרחשת התופעה הזאת. סינגלט- ספין 0. ספין זה מומנט דיפול מגנטי.	49:53-50:02
במצב טריפלט ספין = 1 כשמפעילים שדה מגנטי רואים שהוא מפעיל כוח על האלקטרון. ניסוי שטרן גרלך- אטום כסף ספין = 1 כאשר מפעילים שדה מגנטי ניתן לראות שהאטומים זזים, כפונקציה של המספר ± 1	50:35-50:43
50:47-51:38	
ביוד בגלל שהקירוב של הספין לא טוב, רואים זמני חיים של מיקרו שניות. יש מעברים סינגלט, טריפלט ולכן המצבים מתערבבים. בזרחן הקירוב קצת לא טוב אז יש מעבר מסינגלט לטריפלט אבל החזרה היא מסובכת כי האטום "יודע" שהוא בטריפלט, זה מצב ביניים. ביוד הקירוב כ"כ לא טוב שהאטום לא "יודע" אם הוא סינגלט / טריפלט	51:52-52:45
שאלה מהקהל- מה מפריע לאלקטרון שהוא בטריפלט לרדת? הסתברות הירידה תלויה באינטגרל המעבר, באינטגרל יש חפיפה בין פונקציות הגל. אם הסינגלט והטריפלט הם "טהורים" אז	54:03-54:29

תוכן	זמן
האינטגרל הוא 0 ואין מעבר! ככל שהחפיפה יותר גדולה אז הסינגלט והטריפלט פחות ברורים וההסתברות למעבר היא בעלת ערך מסוים.	
שאלה מהקהל- כיצד האלקטרון שנמצא למעלה בטריפלט "יודע" שלמטה יש סינגלט? מה מפריע לו לרדת?	55:08-55:14
$2\psi_1\psi_2$ אם המצבים לא מתאימים, ע"פ האינטגרל לא יתרחש מעבר. מה ההסבר? כשיש 2 מצבים ובאים עם אור, האור מצמד את שני המצבים. הקרינה האלקטרומגנטית גורמת לכך שהמערכת לא יודעת איפה היא נמצאת הכל מעורבב. המערכת יודעת כל הזמן מה התכונות של שני המצבים. עד שלא מכבים את השדה, המצבים מעורבבים, והמערכת לא יודעת באיזה מצב היא נמצאת.	55:53-57:16
ליזר- כאשר מאירים באו על מערכת, יכולה להיות בליעה ואז יכולה להיות פליטה ספונטנית. וגם פליטה מאולצת- השדה האלקטרומגנטי גורם לאלקטרון ממצב מעורר לעבור למצב יסוד. מצד אחד אלקטרונים ממצב יסוד עוברים למעורר ומצד שני ע"י אותו שדה אלקטרונים עוברים ממצב מעורר למצב היסוד. מכיון שההסתברות למעבר תלויה באוכלוסיה, ומצב היסוד הוא מאוד מאוכלס לעומת המצב המעורר שמאוכלס פחות, לכן אלקטרונים בעיקר יעלו ופחות ירדו.	59:35-1:00:54
(נוסחה על הלוח) הקבוע בליעה ולפליטה המאולצת הוא זהה קבוע אינשטיין. ההבדל לכמות הבליעה לעומת כמות הפליטה היא בגלל שרוב האוכלוסיה נמצאת בעיקר במצב היסוד	1:01:08-1:02:00
אם נגרום למצב שבו המצב המעורר יהיה יותר מאוכלס ממצב היסוד, יקרה דבר מדהים. הכנסה של פטון אחד תגרום להרבה אלקטרונים מהמצב המעורר להפלט וכך קבלנו הגברה. היפוך אוכלוסין- מצב שבו המצב המעורר יותר מאוכלס ממצב היסוד, וזה מאפשר לקבל הגברה. ההגברה הזאת היא הליזר.	1:02:10-1:02:57
הבעיה- ליזר- הגברה של אור ע"י פליטה מאולצת. אם יש שני מצבים ונבוא עם אור ונגרום לאלקטרון לעבור ממצב מעורר, בשלב מסוים נקבל 50 / 50 ואז תהיה אותה ההסתברות לעלות ולרדת, אז לא הגברה. אי אפשר בדרך פשוטה ליצור הגברה.	1:03:37-1:04:34
בונים מערכת של 3 רמות אנרגיה, (ציור על הלוח) מעוררים אלקטרונים למצב מעורר, המצב המעורר דועך מהר מאוד למצב הביניים. ניתן למשוך הרבה מאוד אלקטרונים ממצב היסוד, מהר מאוד האלקטרונים מאוכלסים במצב המעבר, ואז יש היפוך בין מצב היסוד למצב המעבר.	1:04:50-1:05:32
ממצב הביניים למצב היסוד- זה יהיה הלייזר.	1:05:05-1:05:55
חזרה על תהליך 3 רמות ליצירת היפוך אוכלוסין	1:06:00-1:06:29
יש מערכת של 4 רמות (ציור על הלוח) שואבים אלקטרונים לרמה 11 לרמה 4, האלקטרונים עוברים למצב 3, והליזר היא מרמה 3 לרמה 2, לאז יש מעבר לרמת היסוד 1.	1:07:58-1:08:22
הסטוריה- לייזר הודגם בפעם הראשונה עם אמוניה. המולקולה עוברת בין שני מצבים פירמידה ופירמידה הפוכה. הצליחו ליצור אמוניה שמכוונת בכיוון אחד ואז הקרינו עם אור שמתאים למהפך. כיון שהיתה המון אוכלוסיה במצב מסוים קבלו היפוך אוכלוסיה ולזירה בגלי מיקרו.	1:08:49-1:10:30

תוכן	זמן
השלב הבא היה לזירה של גביש רובי, ומשם זה התפתח.	
50% עברו ל 4 ודעכו ל 3. ברמה 2 יש 0 אלקטרונים ולכן בין 2 ל 3 יש היפוך אוכלוסין, והם יפלטו. מ 2 הם לא יעברו ל 1 כי שם כבר אין היפוך אוכלוסין.	1:11:00-1:11:35
הכניסו פוטון ויצאו הרבה פוטונים- הפוטון שמתחיל את ההגברה נפלט ספונטנית בפלורסנציה.	1:11:57-1:12:10
שאלה מהקהל- למה בין רמות 4 ל 3 לא נפלטת קרינה? תשובה- בז"F בונים את הרמות כך שהמעבר בין 4 ל 3 הוא מאוד מהיר ולא קרינתי.	1:12:17-1:12:50
יעילות לייזר- במצב של 3 רמות, האנרגיה שמשקיעים היא האנרגיה שמרוויחים, ב 4 רמות הפסדנו חלק מהאנרגיה, הרווחנו במהירות השגת הלזירה. עדיף לבנות לייזר כך שרמה 3 קרובה לרמה 4 כך שנפסיד פחות אנרגיה.	1:12:50-1:13:53
שאלה מהקהל- איך שולטים ברמות? תשובה- בוחרים מערכות מולקולאריות לגבישים שיש להם את המבנה הזה, בוחרים חומר שיכול לעשות את המעברים הללו.	1:13:58-1:14:27
ככל שהבדל האנרגיה בין המצבים יותר גדול, הסתברות המעבר יותר גדולה. ככל שההפרש יותר גדול קל יותר להגיע ללזירה.	1:15:22-1:15:38
העוצמה תלויה: א. בחומר ב. הנדסה של הלייזר הבעיה- איך מביאים את המערכת להיפוך אוכלוסין? בונים מהוד. העיקרון- שמים משני צדדים מראות. מצד אחד מראה שמחזירה 100% מהאור, ומהצד השני מראה שמחזירה חלקית. (ציור על הלוח)	1:15:46-1:16:52
מתחילה פלורסנציה, הפוטונים מתחילים לעבור בין 2 המראות. למבנה שכולל את שתי המראות קוראים מהוד.	1:16:57-1:17:24
אם בונים את המהוד כדי שיקיים את הכלל: פעמיים המרחק * מהירות האור* מספר שלם = תדירות נוצר גל עומד, ז"א יש אור שרץ הלך וחזור קבוע. והאור עוזר לנו לשאוב אלקטרונים למצב המעורר. בממוצע של פוטון עושה 9 פעמים את המסלול לפני שהוא יוצא- מנוצל הרבה פעמים. זה בעקרון מבנה הלייזר.	1:17:38-1:18:53
כתוצאה מהמבנה מתקבלות התכונות הבאות: 1. כיוונית- מקבלים מלייזר קרן מאוד כיוונית, האור רץ בין המראות ויוצא רק בכיוון אחד. 2. מונוכרומטיות- יש מעבר של אלקטרון אחד אז תדירות הפליטה, צבע הלייזר מוגדר היטב, צבע אחד.	1:18:53-1:20:51
3. בהירות גדולה- כל הפוטונים יוצאים מרוכזים בזווית מוגדרת.	1:21:03-1:21:22
בהירות- מספר פוטונים בתוך זווית מסוימת	1:22:02-1:22:10
4. קוהרנטיות- דוגמא- איצטדיון- 1. קהל ישראלי- קם ויושב מתי שרוצה בבלגאן. קהל אנגלי- ניתן לראות גלים בקהל המיוחד בגלים- ניתן "לנבא" מתי הגל יבוא לאיזה מקום- זו קוהרנטיות. כל הפוטונים יש להם התנהגות גלית, כל פוטון יודע על ההתנהגות של הפוטונים האחרים.	1:22:10-1:23:30
במחיאות כפיים- יש חשיבות של קצב של אנשים שונים. שכולם יתחילו מנקודה זהה. בנמשל- כל הגלים באותה פאזה.	1:23:36-1:24:02

תוכן	זמן
<p>כיצד מקבלים היפוך אוכלוסין? עומצה אפשר לעורר את הלייזר בכמה שיטות:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. אור 2. זרם חשמלי- יש לייזר בכל CD לוקחים צינורית ועושים ברק חשמלי בין שני הצדדים שלה, האלקטרונים פוגעים באטומים / במולקולות. האלקטרונים שפוגעים גורמים לעירור ולפליטה של פוטונים לדוג' - לייזר הליום- ניאון פוינטרים. 3. שואבים לייזר בעזרת לייזר אחר. 4. מתח חשמלי- לייזרים של מצב מוצק 	1:24:28-1:27:08
<p>כשבונים לייזר מאטומים יש מספר בדידים שבהם מתרחשת הלזירה, ז"א יש מספר צבעים מוגבל. לייזר שבנוי על מולקולות צבע גדולות קובעים את היפוך האוכלוסין ע"י שינוי המהוד. יש הרבה מעברים אפשריים והמהוד קובע איזה מעבר יזכה להגברה, המהוד קובע את הצבע.</p>	1:27:37-1:28:35
<p>יש לייזרים שעובדים ב UV . לייזר שנכנס לשימוש בתעשיית המוליכים למחצה, לייזר פלואור, משתמשים בו לליטוגרפיה.</p>	1:28:45-1:29:38
<p>בגלל היכולת לכוון מרחקים ארוכים ולמנוע פיזור ניתן להשתמש בהם לתקשורת. לדוג' =האירו את הירח. משטרה- קביעת מהירות ע"י לייזר, יריית שני לייזרים וחישוב המרחק בניהם.</p>	1:29:54-1:31:38
<p>איפה יכולות להיות טעויות במדידה ע"י לייזר? כשהיד של השוטר לא יציבה במקרה של אופנועים, רב החזרה באה מהכביש.</p>	1:31:38-1:32:47
<p>פיתוח שמעלים אובייקטים- מכניסים אובייקט לכלי שקוף והוא "נעלם", לא רואים אותו. איך עושים את זה?</p>	1:34:06-1:34:58
<p>בונים מערכת של מראות- מוגבל לזווית ראייה מסויימת. (ציור על הלוח) ההחזרה של המראות היא לנקודה רחוקה יותר מהאובייקט ולכן זה נראה שרואים דרכו.</p>	1:35:07-1:36:29
<p>לייזרים הם כלי חשוב בספקטרוסקופיה משמשים לספקטרוסקופיית ראמאן, ולמידת פלורסנציה ביעילות טובה.</p>	1:36:59-1:37:46
<p>לייזרים גזים, מוצקים ובתמיסות. לייזרים כימיים- לייזרים שהיפך האוכלוסין שלהם נוצר ע"י ריאקציה כימית (ולא ע"י שא6יבה אופטית). לדוג' $2HF \leftarrow F_2 + H_2$ (V=3) יש פליטה מ V=3 ל V=2 אם עושים את הריאקציה בתווך סגור מקבלים לזירה.</p>	1:37:54-1:39:12
<p>בלייזרים נגד טילים רצוי להשתמש בלייזר כימי, הבעיה היא אחזקת החומרים.</p>	1:39:21-1:39:50