

סוכם על ידי אבי שוע –

shuaavi@gmail.com

<http://www.cs.huji.ac.il/~shuaavi>

אני מקווה שהסיכומים יעזרו לכם ולעוד רבים – אבל אני חייב להעיר – יתכן, ואפילו סביר, שיש בה טעויות. **אני (ואף אחד אחר) לא לוקח אחריות** לאף ציון / נזק שיגרם בגלל הסיכום.

אבי שוע

22.10.2006

שעת קבלה: יום ג' 10-11, 5618
דוא"ל: buzaglo@mscc.huji.ac.il

תולדות היחס בין הפיזיקה לפילוסופיה – מטאלס ועד היום

בימינו, הפילוסופים עזבו את הפיזיקה – הפיזיקאים מתעניינים בפילוסופיה. מה היה פעם?

הכל התחיל **מטאלס** – שאמר על הפיזיקה '**הכל מים**'.

גם כשהחלה התאוריה של האטומים, היא נחשבה לפילוסופיה. בתקופת **הפרסוקרטים** – אין הבדל בין השניים.

הדבר השתנה אצל **סוקראטס** – שלא התעניין כל כך בפיזיקה. באופן מודע לא עניין אותו 'הטבע'.
אפלטון – אומר שהחולף מחקה את הנצחי, ובמובן הזה יש עניין בחולף, ובנוסף – הוא מספר את הקוסמולוגיה, ויש לו את הפיזיקה שלו. הוא מתאים לכל יסוד גוף משוכלל, ויש לו תפיסה ועמדה בנוגע לטבע. מצד שני, כל הפיזיקה שלו היא ב'טימאוס', ולא רואים אותה או קישורים ממנה או אליה בשאר כתביו. הפיזיקה היא 'עיסוק לשם שעשוע' – זוהי ידיעה מרמה נמוכה יחסית.

אצל **אריסטו** הקשר מעניין – הוא איש הטבע, יש לו את הביולוגיה, הפיזיקה, וכיו"ב, אבל הקשר בין הפיזיקה למטאפיזיקה שונה ממה שאנו רואים כיום – הוא משתמש באותה שפה לשניהם. העולם הוא הומוגני מנקודת המבט של הפילוסוף – אלוהים הוא חלק מהפיזיקה, ולכן מושא המחקר הוא אחדותי.

אצל **גלילאו גליליי**, העולם נהפך יותר אמפירי, יותר עם נגיעה לזכרון, ומצד שני יותר מתמטי ואפריורי. עד אליו לא הכירו בחשיבות המתמטיזציה של הטבע. גלילאו מגלה את חשיבות התנועה. 'אלוהים ברא את הטבע בחוקי המתמטיקה'.

דקארט מושפע מאוד מהמתמטיזציה – אצלו ברוח יש חרות, והגוף מושפעת על ידי המתמטיקה. אצל **שפינוזה**, גם את הרוח וגם בגוף ניתן להבין בצורה מתמטית (כך מתחילה הפסיכולוגיה). **שפינוזה** משפיעה ומעורב מאוד בפיזיקה של זמנו.

לייבניץ – 'ענק הענקים' – אלוף בפיזיקה, מטאפיזיקה, מתמטיקה (והורדות ידיים). מגיע לייבניץ, ועומד חוצץ מול כל הפיזיקה של זמנו – ואומר לאנשים שבזמנו – 'אין אטומים'. יש מונדות – הם רווחות – שמהותן העיקרית היא התפיסה. כך הוא מחייה את העקרונות התכליתיים.

ברקלי – 'גאון הגאונים' – 'אין חומר' – שכן החומר לא נטעם. יש תחושות – אין סיבה לתת להן מצע. הוא יוצא נגד החשבון הדיפרנציאלי של לייבניץ, מראה שהחשבון הזה מלא סתירות פנימיות. ציטוט שלו '**עוד לא היה גאון אחד שהוא מתמטיקאי – רק פילוסוף יכול להיות גאון**'.

יום מפתח את ברקלי, ומפריך את הסיבתיות.

קאנט – נתפס כמי שמסדר הרמוניה בין האימפרציסטים לרציונליסטים. נתפס כמי שמוכיח שהמטאפיזיקה אינה אפשרית. קאנט היה מדען, עסק באסטרופיזיקה. הוא פתח את האפיסטמולוגיה, תורת ההכרה. הוא עשה מעבר מהעניין בטבע, למבנה ההכרה האנושית, וכך מבטל את האונטולוגיה (מה שיש ב'אמת'). אולם, אם מתעמקים בקאנט, מבינים שהוא לוקח את עובדת קיומו של המדע על מנת לחקור את הטבע. מה הכוונה – לדוגמא, הוא לוקח את עובדת קיומה של הגאומטריה כדי להסביר מהו החלל – צורת תחושה של האדם (בלי האדם – אין חלל). קאנט לוקח את המאפיינים הכלליים של הידע האנושי, ולומד ממנו על **ממשותו** של הטבע. החלל, כדוגמא, אינה תכונה של הדברים כשלעצמם. הוא רואה שאנחנו מבינים את הטבע, ושואל איך זה יתכן – ועונה כי הדבר יתכן רק **בגלל שהטבע קשור להכרה האנושית באופן אורגני**. אינשטיין יגיד, מאוחר יותר – 'החידה איננה מה הטבע, אלא שאנו מבינים מהו'.

במובן שתארנו לעיל, קאנט עסק בפיזיקה.

בימינו, מתחיל מרד בקאנט. 'אין הבנה אפרירית' – כי חטפנו מכה אחרי מכה מכל דבר שחשבנו אפרירית (שגילינו כשגוי). זהו ה'פוזיטיביזם הלוגי'. הפילוסופים פרשו מהטבע – והשאירו את הפיזיקה לפיזיקאים.

במאה ה-20, מתחילה הפרישה - ויטגנשטיין, בתחילת המאה ה-20, טוען כי ה'מטאפיזיקה חסרת משמעות'. קרנפ המציע את הישים ה'תאורטיים', העוזרים לנו לגבש תפיסת עולם – כדוגמת האטומים, וכיו"ב. מאך לא מוכן לקבל אפילו כוחות – רק תאוצות.

הפוזיטיביסטים טוענים כי אמירה כמו 'פה עבר אלקטרון' – משמעותה היא תופעה פנומנלית – אם תשים מכשיר מדידה, תגלה 'אלקטרון'. **אין 'באמת' אלקטרון (אטום)**. זה משהו אינסטרומנטלי, שמיועד להסביר תופעות. הפוזיטיביסטים לא הצליחו בראי ההסטוריה – לא הצליחו להסביר היטב את תפיסתם.

לאחריהם מגיע הדור בו אנו חיים – בה מגיע **כהן**. כהן לא אומר כלום על פיסיקה, אבל נחשב כמשקם של האונטולוגיה. השאלה 'מה הוא זה שישנו באמת', היא בעלת משמעות. 'להיות הוא להיות ערך של משתנה'. כהן מדבר על אונטולוגיה מסדר שני – הוא לא אומר מה יש. הוא אומר – תן למדען לעבוד – ותסתכל על מה מכתמים כמתיו. הוא אומר 'לראות את הפיסיקה והמטאפיזיקה על מישור אחד'.

בימינו, יש את הפילוסופים של הלשון, לדוגמא – ויטגנשטיין, שמפנים עורף לפיזיקה. יש את הפילוסופים של המדע – שחוקר את המדע. **לא את מה שחוקר המדע** – מעין פילוסופיה מדרגה שניה. היא חוקרת את הפיזיקה, **לא את הטבע - היא מנותקת לחלוטין מהטבע!**

מי מתעניין פתאום בפילוסופיה? הפיזיקאים המודרנים! אייזנברג, אבי תורת אי הוודאות, פתאום טוען שהוא אפלטוניסט. איינשטיין לא מקבל את תורת הקוונטים, שכן 'הירח לא קיים רק בגלל שאני מסתכל עליו'. אנו חוזרים בימינו ל**פרסוקרטים – הגבולות נעלמים**.

מבנה הקורס:

שיעור 2 – סופר-פוזיציה – נושאים בפיזיקה, המתמטיזציה של הפיזיקה.

29.10.2006

'למה פילוסופים לא מתעסקים בפיזיקה? זה קשה! לך תלמד עכשיו משוואות דיפרנציאליות חלקיות'

'כשפילוסופים כבר דיברו, אז הם בטח בלבלו את המוח, עשו רושם על בנות'

הקוונטים

הנושא מתפתח עם הזמן, ורק ב-1960 התחילו להבין שיש בעיה עם ריאליזם וקוונטים, ואז מתחילה ההתעניינות בעניין בפילוסופיה.

פיינמן – ניסוי שני הסדקים

ע"פ פיינמן, זהו הניסוי שמבהיר את הבעייתיות בפיסיקה. מטרתו להבהיר האם האור הוא גל או חלקיק. גל – התפשטות של הפרעה בלי חלקיק שעובר.

עקרון הסופרפוזיציה

אם יש מספר מקורות גליים, אזי בנקודה x ברגע מסויים סוכמים את עוצמת הגלים באותו זמן. (עוצמה רגעית של גל יכולה להיות גם שלילית). התאבכות יכולה להיות רק בגלים (מן הסתם, חלקיקים לא יכולים להתאבך).

חידת 'ניסוי שני הסדקים' – איך יודע החלקיק שהסדק פנוי? איך אפשרות משנה את בחירת החלקיק? (לעומת ההבדל של כוח המשיכה, שם קיום משפיע על חלקיק אחר).

אם מנסים לבדוק מאיפה מגיע החלקיק (עם מנורה, או גלאי) – וזה משפיע על התוצאות... – אם אני יודע היכן החלקיק עבר אז אני מקבל את ההתנהגות החלקיקית, ולא הגלית.

5.11.2006

מושגים נדרשים במתמטיקה:

1. מספרים מרוכבים
2. וקטורים.
3. מכפלה פנימית (סקלרית) $(v_1, v_2) = \frac{1}{2}$
4. מושגים בסיסיים בהסתברות.
5. נגזרות, משוואות דיפרנציאליות.

פיינמן

היתה תקופה שרק קומץ קטן של אנשים הבין את תורת היחסות של איינשטיין. כיום המצב שונה – אף אחד לא מבין את תורת הקוונטים. אי אפשר להבין את תורת הקוונטים. כיוונו של פיינמן מאוד לייבניציאני.

התאוריה שפיינמן מוציא נקראת QED ('אור וחומר'). ניתן לראות את כול התאוריה כהתעמקות בניסוי שני הסדקים.

קטע 1-5: נקבע עקרון (A) – כל אלקטרון עבר דרך חור 1 או דרך חור 2. ננסה לבחון אם הוא נכון. אנו רואים ש $P_{12} \neq P_1 + P_2$ (ההסתברות לקבל אלקטרון בנקודה כלשהי כששני הסדקים פתוחים היא לא סכימת ההסתברויות של כל אחד מהחורים פתוחים). אנו רואים כי P_{12} דומה למה שהיינו מצפים לראות בגלים. בסיום הקטע, הוא מגיע למסקנה שעקרון A לא נכון.

קצת תזכורת מתמטית: לכל מצב פיזיקלי מתאים וקטור. לכל מערכת פיזיקלית מתאים מרחב וקטורי. לכל מצב פיזיקלי מתאים וקטור, שאורכו יחידה.

לכל גודל פיזיקלי (Observable) מתאימה טרנספורמציה לינארית. וקטור v המקיים $A(v) = \alpha v$ עבור טרל"נ נקרא eigenvector (וקטור עצמי), ו α נקרא ערך עצמי, EigenValue.

משפט: אם למצב פיזיקלית מתאים וקטור v , וגודל מדיד מתאים לו טרנספורמציה לינארית A , v_0 הוא וקטור עצמי של A , אזי מדידה של A תניב את הע"ע α המתאים לו.

$$\text{קצת תרגול - } \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ -1 \end{pmatrix} \text{ כמובן ש } \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \text{ אינו ו"ע.}$$

$$\text{עכשיו נחשב } \begin{pmatrix} 1/\sqrt{2} \\ 1/\sqrt{2} \end{pmatrix} \text{ כמובן ש } \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1/\sqrt{2} \\ 1/\sqrt{2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1/\sqrt{2} \\ 1/\sqrt{2} \end{pmatrix} \text{ הוא ו"ע.}$$

קאנט – סיבתיות היא תנאי להגיון האנושי. החלל והזמן אינן תכונות של הדברים עצמם – הם תכונות של הסובייקט. לגבי התפיסה האנושית, עם זאת, אין לדברים ברירה אלא להיות מנוסחים בחלל ובזמן, ואותו דבר בנוגע לסיבתיות. ע"כ, החלל והזמן הם אפריריים, ומכננים את האובייקט. ע"כ – העולם אובייקטיבי עבור האדם.

אצל בור, מכשיר המדידה מחליף את הסובייקט של קאנט. למרות כל זאת, כל המונחים של הפיסיקה הניוטונית נשארים תקפים, שכן – האדם מכיר את העולם כך. אולם, תיאור זה אינו שלם.

3.12.2006

חוקי ניוטון + מקסוול:

1. גוף יותמיד בתנועתו בקו ישר במהירות קבועה כל עוד לא פועל עליו כוח.
 2. יהי סכום הכוחות הפועלים על גוף F , אזי $F = m \cdot \vec{a}$, כאשר \vec{a} זה התאוצה, קצב שינוי המהירות, ו m היא המסה.
 3. אם גוף א' מפעיל על גוף ב' כוח \vec{F} , אז גוף ב' מפעיל על א' כוח בכיוון הפוך \vec{F} .
נשים לב שיש כאן כמה הנחות פילוסופיות – כוחות 'יושבים' על גופים. בנוסף, לא מוגדר 'כוח'. בנוסף, נשים לב שכוח מגדיר מסה, ולהפך, ואין לנו הגדרה ישירה של אחד מהם.
- נשאל, איפה 'גלום' ההכרח שאלקטרון יפעיל כוח זהה על הגלקסיה שמפעילה עליו כוח.

ניסויים ששברו את התפיסה הקלאסית:

1. 1900 - **פלנק** – ניסוי גוף שחור – ע"פ חוקי מקסוול, כל גוף פולט קרינה, ויוצא שגוף שחור טהור צריך לפלוט קרינה אינסופית. כמובן שזה בעיה, ועל כן פלנק מניח השארה שרירותית – אם מניחים שכמו שחומר הוא בדיד, גם כמויות אנרגיה הן בדידות. ע"פ הנחה זו יוצאת נוסחה, המכילה את קבוע פלנק 10^{-34}
2. 1905 – איינשטיין כותב את מאמרו על **האפקט הפוטו אלקטרי** – קרינה על לוח גורמת לאור להיפלט, וזה לא עובד ע"פ חוקי מקסוול. איינשטיין לוקח את הנחת פלנק, וטוען שהתופעה הינה בדידה.
3. 1913 – מודל האטום של בוהר – קובע נגד מקסוול, כי לאלקטרון יש מס' מסלולים מותרים, והוא מקיף את הגרעין בדיוק במסלולים המותרים, ואז הוא יכול להקיף אותו לעד, בלי לפלוט אנרגיה (בניגוד לחוקי מקסוול). כאשר הוא מחליף מסלול, קיים פער באנרגיה, ונפלט קוונט אחד של אנרגיה (פוטון).

כאן מתחילה תורת הקוונטים. פיינמן כותב כי ביחס למהפכת הקוונטים, תורת היחסות היא רק תיקון קטן למכניקה. בנוסף, הוא מוסיף כי 'אף אחד לא מבין את תורת הקוונטים'. הוא שופך אור על תורת הקוונטים בעיקר באמצעות שיקולים לייביציאניים.

- 1925 – **עיקרון אי הוודעות** – הייזנברג, כשהוא בן 24, מפותח באמצעות מכניקת המטריצות.
- 1926 – שרדינגר נותן פורמליזם אלגנטי לתורה של הייזנברג.

זה ברואי – קובע כי לכל חלקיק יש תכונות גליות. לכל מה שיש לו תנע, אפשר ליחס לו אורך גל.

1935 – פרדוקס EPR -

1962 – אי שיוויון בל – 'הטענה הכי חשובה שהוכחה במאה ה-20 בפיזיקה'.

כל הניסויים שאנו מדברים עליהם, תומכים בעמדת בוהר ולא בעמדת איינשטיין בויכוחים שביניהם. נראה שהסופרפוזיציה נשארת איתנו.

10.12.2006

ציטוט השיעור: 'קחו טקסט קאנטיאני, תוסיפו כמה 'לא' באמצע, ותראו שאף אחד לא ישים לב, גם לא מומחה בתחום'.

EPR

איינשטיין ניסה להוכיח שתורת הקוונטים איננה שלמה. הם הצליחו לחבר את הבעיות בתורת הקוונטים + עיקר מתורת היחסות הפרטית (עיקרון הלוקאליות – שום דבר לא עובר במהירות רבה, ממהירות האור, כולל מידע). למען האמת, אין צורך במהירות האור – צריך פשוט הנחה שאין השפעה שעובדת במהירות אינסופית.

'אם בלי להשפיע על מערך ניסוי מסוים, אני יכול לנבע מה התוצאה, אזי יש אלמנט של המציאות שהיה שם עוד לפני התוצאה'.

תיאור הניסוי

חומר רדיואקטיבי פולט חלקיקים, שאנו יודעים שהספין שלהם (תכונה כלשהי) יהיה הפוך אחד לשני.

הניסוי מתואר ב Wikipedia יפה, ותוקף את עקרון אי הודאות, וטוען למשתנים חבויים. איינשטיין ושות' לא אומרים שתורת הקוונטים שקרית – היא טובה פשוט מהבחינה הסטטיסטית. מה שהוא 'מוכיח' זה שיש לאלקטרון מקום / מצב, ולא המדידה קבעה זאת.

תשובת Bohr לאיינשטיין היתה לא ברורה – טוענים שהוא היה אחוז תזזית, ושקע מספר שבועות בחשיבה. הוא תוקף את קריטריון המציאות שרשום למעלה. 'ברור שלא מדובר בהשפעה מכנית, מדובר באופן עקרוני על עצם התנאים המגדירים את הסוגים האפשריים של חיזוי עבור ההתנהגות העתידית של המערכת'.

מלמין

מציע לקחת שני מכשירי מדידה רחוקים, שיכולים להיות ב3 מצבי מדידה שונים, ובעלי נוריות אדומות וירוקות. באמצע – משהו שיוורה אלקטרונים.

אני שם לב, שכשהם על אותו מצב מדידה, הם פולטים את אותו צבע. (11GG).

אם הם על מצב מדידה שונה, אזי ב $\frac{1}{4}$ מהמקרים הם יתנו את אותו צבע, וב $\frac{3}{4}$ מהמקרים – צבע אחר.

מה הבעיה עם זה? עוברת אינפורמציה (על מצב הבדיקה) במהירות אינסופית.

בסה"כ – או שאנו מוותרים על הריאליזם (לפני המדידה, לא היה פה שום ערך), או על הלוקאליות. דבר זה סותר את רעיון EPR.

24.12.2006

סיכום השיעור הקודם:

אם אנו רוצים לשמור על לוקאליות, חייבים לוותר על ריאליזם. הגדרת הספין נקבע עם המדידה. חוקרים טוענים שמה שבאמת הפריעה לאיינשטיין הוא הפגיעה בריאליזם 'הירח לא נעלם כשאני לא מסתכל עליו'.

ברקלי

נשים לב שהמטאפיזיקה שלו מתאימה למה שאנו רואים באי שיוויון בל. יש המזלזלים בברקלי ואומרים 'כאן יש פילוסוף שאפילו לא מאמין במה שהוא אומר'. אולם, יש פילוסופים שרואים אותו כאחד הגאונים הפילוסופים של כל הזמנים.

נשים לב שגם קאנט שינה הרבה בספרו מהמהדורה הראשונה לשניה כדי שלא יזהו אותו בלי ברקלי. אבל עמדו של קאנט היא אידיאליסטית, ואי אפשר להבין את קאנט ללא ברקלי.

אפשר לסכם את הרעיון שלו ב'אין עצמים בלי רוח'. הטיעון מתבסס על כך שדימוי החלל מניח צופה. בלי צופה אין 'שמאל וימין', ולכן אי אפשר לדמיין חלל בלי צופה. אני תנאי של מה שאני צופה. 'להיות הוא להיות נתפס'. נשים לב שברקלי טען זאת רק לגבי מושאי החושים – עבור הרוח, ההויה שלה היא להיות תופסת.

טיעון : אין דבר מתפשט בלי צבע. אין צבע בלי רוח ← אין דבר מתפשט בלי רוח.

31.12.2006

היום נדבר קצת על אונטולוגיה, ראליזם, אידיאליזם, ועוד.

חשוב להבין שאידיאליזם / ריאליזם הם מקבצי עמדות, ולא עמדה אחת.

ריאליזם

יש עולם של עצמים שקיימים באופן בלתי תלוי בתודעה. אדם לא יכול להיות ריאליסט בנוגע לכל דבר – אלא בנוגע לסוג מסוים של אובייקטים. לדוגמא, אדם יכול להיות ריאליסט בנוגע לעצמים חומריים. **ריאליזם** פירושו שהטענות שלנו אמיתיות שלנו אמיתיות / שקריות באופן בלתי תלוי בנו. מובנו של פסוק הוא באלו תנאים הוא אמיתי.

אנטי ריאליזם: מובנו של פסוק באלו תנאים בהם ניתן לטעון אותו.

אידיאליזם

ללא תודעה אין עצמים חומריים. **התפיסה מייצרת את התופעה.**
קונבנציונאליזם: אמיתיות מסוימות הם תלויות הסכמה בין בני אדם. נשים לב שזה נוגד את הריאליזם. (פונקרה, קרנפ).

וריפקציוניזם: פסוק שאין לי דרך לאשר אותו או להפריך אותו הוא חסר משמעות. לדוגמא, **פסוקי המטאפיזיקה** הם חסרי משמעות. אפשר להגיד שברקלי יוצא מגישה זו 'אני לא יכול לאשש את להפריך את החומר, ולכן אין לו משמעות'!

אינסטרומנטליזם: כל העצמים שהפיזיקה מדברת עליהם, ואין לנו שום נגישות פרספטואלית אליהם (אטומים, קוונטים, ..) – אני לא מתחייב שהם קיימים או לאו – אני אדיש לכך. אני משתמש בהם ככלי שנותן לי יכולת ניבוי טובה יותר. **עצמי הפיזיקה הם כלי לניבוי מוצלח – הם עצמם לאו דווקא קיימים.**

עד כאן מבוא לאונטולוגיה. מכאן – מבוא לאונטולוגיה מתקדם ('מכאן, לא תמצעו את מה שאני אומר בגוגל').

ריאליזם: יש עולם של עצמים קיימים באופן בלתי תלוי בתודעה. גם אם לא הייתי, הכל היה עומד בעינו'. בעולמות אפשריים בהם אין תודעה, יש עולם.

אידיאליזם: אצל קאנט, יש שתי רמות. רמת התבונה, ורמת 'הדברים כשהם לעצמם, העולם'. כל מה שהמדע מתאר קורה בעולם התופעות. מעבר לעולם התופעות, יש עולם שמחוצה לו, עולם הדברים כשהם לעצמם, **לו אין לנו שום נגישות**. עולם התופעות מכיל אלמנטים פרספטואלים, ואלמנטים תבוניים (סיבתיות, ...).

עולם התופעות מחייב אותנו, אבל לאו דווקא מחייב כל יצור. מי שחי בעולם המיתוס, רואה קטגוריות שונות לגמרי, וחווים עולם תופעות שונה לגמרי. יתכנו יצורים שכליים בלי חלל ובלי זמן. אידיאליסט יכול לא להסכים בכלל לקבל את רעיון העולמות האפשריים של הריאליסט (אין בכלל עולם אפשרי בלי תודעה).

נשים לב שיש לנו בעיה – אין שפה משותפת בין האידיאליסט לריאליסט. אם האידיאליסט מאמין שזמן תלוי באדם, אזי אי אפשר להגיד 'בזמן שלא יהיה אדם, יש עולם' – אם אין אדם, אין זמן.

ברקלי:

- התפוח הוא ברוח
- להיות תפוח הוא להיות נתפס כתפוח.
- אפשר לתפוס רק אידאות
- התפוח הוא אוסף אידאות
- אין חומר

יש שטוענים שהבעיה של איינשטיין עם כל תורת הקוונטים היא הריאליזם שאבד.

אצל ברקלי, יש שני סוגי 'ישים' – יש כאלה ש'להיות' שקול ל'היות נתפס', ו'להיות' זה ל'היות תופס'.
מדובר, על פיו, בשיתוף השם – מדובר במהויות שונות.

14.1.2007

בפעם הקודמת עברנו על המאמר של מרמין, שמסביר את הניסוי של EPR. הניסוי מראה שכשהאלקטרונים יצאו מהמקור, לא יתכן שהספין שלהם היה מוגדר.

ההחלטה איזה ספין למדוד (1,2,3) היא אקראית. יצא, כשכשאנו מודדים את אותו ספין 1 בשני הצדדים, אזי הספין יצא זהה. עקרון הלוקאליות מבטיח שלא היה יכול להיות קשר בין שני הצדדים.

נשים לב, שאם בשני הצדדים מדדנו דברים אחרים, אזי ברבע המקרים תהיה קורלציה בין התוצעה,

וב $\frac{3}{4}$ לא. אבל ע"פ הממוצע, ב $\frac{1}{3}$ מהמקרים צריך להיות אותו צבע. כאן הסתירה, כי יש רק ברבע

מהמקרים יש את אותו צבע.

מה הבעיה? בהנחת לוקאליות (חוסר קשר בין הצדדים), כדי שאם במקרה של מדידה זהה תצא תוצאה זהה, צריך שבכל המצבים האלקטרוניים יהיו עם אותם פרמטרים (כדי שכל מדידה תהיה זהה בשני הצדדים).

מכאן מגיעה הטענה 'שהירח איננו כשלא מודדים אותו'.

אפשר לומר שהניסוי הזה מראה, לדעת מרמין, הוכחה אמפירית לטענה מטאפיזית.

דאמט טען לטובת עמדה אנטי ריאליסטית במתמטיקה. מאחר ואין לנו דרך לאושש / להפריך את המתמטיקה, אזי אי אפשר לקבל אותה, ואי אפשר להשתמש בה בשביל להוכיח עמדה מטאפיזית. ועל כן, שיקול מתמטי לא יכול להוכיח טענה מטאפיזית. לטענתו, תורת הקוונטים מוכיחה שיש לשנות את הלוגיקה משיקולים האמפיריים.

דאמט מקבל, כמו מרמין, את הטענה שעמדה ריאליסטית היא בלתי אפשרית, לכן צריך לשנות את הלוגיקה. לדעתו, ריאליזם או חוסר ריאליזם לא צריכים לעניין את המתמטיקה.

כעת נעבור למאמר של ימימה בן מנחם – טוענת שהניסוי בעצם תומך בריאליזם. היא עושה הבחנה בין שני דרכים לפרש את עיקרון אי הוודאות (UP) – במובן החלש או החזק.

1. weak UP – wup דרך אחת, מקורית שלה, ומדברת על כך שאנו מנועים, בשל עקרון אי הוודאות, למדוד בבת אחת שני גדלים צמודים (כמו תנע ומקום). (אפיסטמי) אפשר לפרש את זה גם בגלל בעיה פרקטית של מדידה.

a. בוזגלו רואה כאן עוד פרשנות – שהכוונה היא שאי אפשר למדוד מה שאיננו.

2. SUP – Strong UP - בדרך השניה, במובן החזק, אין מצב קוונטי שבו לשני הגדלים הללו יש ערך בו"ז. (אונטולוגי)

ברור, לגישה, ש $2 \Leftarrow 1$ – אם אין מצב, אי אפשר למדוד אותו.

נשים לב, שאפשר לקבל עמדה וריפקציוניסטית, ואז ההבדלה בין 1 ל 2 נמחקת.

לסיכום, ימימה מנסה לדון בשאלת EPR על ידי דיון במושג אי הוודאות. היא מייחסת את גרסה 2 (עקרון אי הוודאות החזק) לבוהר, ואת הראשונה לאינישטיין. אי שיוויון בל הוכיח את הגרסה השניה sup – שהיא ריאליסטית.

נשים לב שמרמין לא דרש את עקרון אי הוודאות – הוא יוצא מניסוי. כביכול (רק כביכול) אפשר להגיע למסקנה 'שהירח לא שם כשאתה לא מסתכל' ישר מ EPR. ימימה תגיד שבדבריו של מרמין, יש מימד ריאליסטי.

לדעתה, אם מקבלים את הגרסה החדשה, שאין ערכים, אזי פשוט אין מצב, ולכן אין כאן דעה אנטיריאליסטית. מבחינתה, אנטי ריאליזם זה אם אפשר לייחס כל ערך למצב. היא מסכימה שתכונות הירח אינן לפני המדידה, כמו מרמין. הם פשוט מגדירים הגדרה אחרת של ריאליזם.

25.2.2007

על מה מדברים הסמסטר?
בעיקר שאלות פילוסופיות קלאסיות – 'הפילוסופיה של הטבע'.
מדובר במושג שחי בערך עד המאה ה-18, אבד, ועכשיו יש מקום לחזרתו.

נתחיל עם הייזנברג.
הייזנברג מנסה לקשר את רעיון הסופרפוזיציה לרעיון הפוטנציאל האריסטוטלי, שנעלם לפני כמה מאות שנים.
'אין התרחשות בלי הצפיה' – אומר הייזנברג, וזה מוביל לעקרון אי הודאות.
'פוטנציאל' – ממשות אובייקטיבית. המתמטיזציה שיש לנו בתורת הקוונטים היא של פוטנציאל – היא לא נותנת את תוצאת הצפיה.
המושג של התרחשות קיים רק בצפיה. בין צפיות – יש פוטנציאל, לא התרחשויות. מדובר במצב הוויה אונטולוגי.

11.3.2007

היום נדבר על עלייתו של מושג הפוטנציאל של אריסטו. אצל הייזנברג באופן מעניין יש שילוב בין תפיסות אריסטוטליות לתפיסות אפלטוניסטיות בעת ובעונה אחת.

הייזנברג מקבל את התפיסה של אפלטון, שמקבלת את השינויים בעולם לא על סמך דברים בעולם – מסבירים את הדברים בעולם התופעות לא על סמך דברים בעולם התופעות – כדי להסביר את המופיע, יש ללכת מעבר למופיע עצמו.

הייזנברג הולך למוטיבים אפלטוניים – שהשכל חזק מהחומר. ננסה להציג את דעתו של הייזנברג.

הכלל השלישי המוצע – מכניקת קוונטים לא מסתדרת עם $\forall p(p \vee \neg p)$. ולכן, לדעת הייזנברג, צריך לשנות את חוקי הלוגיקה. למה? אפשר לתאר אטום שנמצא בסופרפוזיציה, בשני חלקי קופסה – ואז אי אפשר לייחס ערך אמת לטענה כדוגמת 'האטום בחלק הראשון של הקופסה'. לכן צריך לוותר על החוק השלישי המוצע...

לאחר שנשנה את הלוגיקה, נצטרך לומר מה במציאות מתאים לשינוי בלוגיקה – ברור שחלק גדול מהמציאות כן עונה לחוק השלישי...

נשים לב שאין אלמנט תכליתי במושג הפוטנציאל של הייזנברג (להבדיל מאריסטו).

הערה היסטורית: מושג האטום נולד על מנת לאפשר את מושג 'השינוי'. הטענה ששינוי בלתי אפשרי / אפשרי / כיו"ב היוותה חלק מהותי מיוון הקלאסית.

הפרדוקס היסודי הוא כזה – אם משהו הוא סובסטנציה, אם סוקרטס נהייה סוקרטס, ממה הוא נהייה? אם מלא סוקרטס, אזי מ'לא סוקרטס' לא יתכן שיווצר סוקרטס. ואם היה סוקרטס, אזי מתי הוא נותר? התשובה היא שהסובסטנציות הן רק אטומים – והם יכולות ליצור אובייקטים ולהפרד, וליצור אחרים. הסובסטנציה היא רק אטומים.

25.3.2007

יש טענה שהתופעות הקוונטיות מכריחות אותנו לשנות את הלוגיקה - שהלוגיקה לא תקפה. נעסוק בזה לאחר פסח.

רעיון הסופרפוזיציה וחידות השינוי

הגענו למסקנה שאייזנברג מקבל גם תאוריה אטומיסטית וגם תאוריה של פוטנציאל - דברים שהיוונים העמידו כנגד לאפשרות השינוי. הם חשבו שהשינוי אינו קוהרנטי.

השינוי הבסיסי, שכל שאר השינויים הם נגזרת שלו, הוא **התנועה של האטומים**. באה תורת הקוונטים ואומרת - זה לא נכון. אין פונקציה שמתארת את המיקום של החלקיק בהתאם לזמן. אם היה לו מיקום, אזי הנגזרת היא המהירות, ומכיוון שאין מהירות, אין מיקום, מ.ש.ל.

לכן, בעצם, חלקיקים, לא נעים ולא נחים (כי אם הוא היה נח, אז הוא היה פשוט נע במהירות 0). אם הם היו נעים או נחים, אזי עיקרון אי הוודאות היה נשבר.

נשים לב שגם עקרון האינדיווידואציה נשבר - אין רציפות בחלל (הכרחי לזהות).

מעניין לחזור ליוונים, ולחזור מנקודת המבט הזו על הפרדוקסים הקדמונים של התנועה, ולנסות לראותם מנקודת המבט של תורת הקוונטים של ימינו.

נניח את רעיון הסופרפוזיציה, ונאתגר אותו עם חידות קלאסיות, ואולי מכך נבין יותר טוב מהי הסופרפוזיציה.

החידה הראשונה - מ'לא שיערה' לא נהיית 'שערה'. מ'לא B' לא יהיה 'B'. איך נבין את B? התאוריה האטומית עשתה רדוקציה לתנועה. תשובה אפשרית היא שמ'לא B' עברנו ל'לא B' (סופרפוזיציה) ומזה לב.

פרדוקס נוסף הוא פרדוקס התנועה של זנון - איך אפשר לעבור מרחק של יחידה, אם הולכים בהתחלה

חצי, רבע, שמינית, ... - זו סכימה אינסופית $(\sum_{i=1}^{\infty} (\frac{1}{2})^i)$.

אפשר להגיד גם שכל קפיצה משנים את המצב של המנורה. בסוף, אם באמת אומרים שזה מתכנס, אז המנורה נמצאת בסופר פוזיציה של כבוי ודלוק (פתרון אחר הוא להניח שהזמן והמרחב לא ניתנים לחלוקה אינסופית).

חידת הביצה והתרנגולת: לפני כל תרנגולת היתה ביצה, לפני כל ביצה היתה תרנגולת. העולם קיים זמן סופי. אבל לפי זה צריך זמן אינסופי...

'מה שנע, לא נע במקום שהוא נמצא ולא במקום שאליו הוא לא נמצא. במקום שבו הוא נמצא הוא, הוא נח, ובמקום שהוא לא נמצא - בטח שהוא לא נע שם'. אפשר לרשום את זה כך:

1. גוף תמיד נח כשהוא תופס גודל שווה לעצמה.
2. מה שנע תמיד נמצע ב'עכשיו'.
3. מה שב'עכשיו' תמיד תופס גודל שווה לעצמו

לכן

1. מה שזו תופס מקום שווה לעצמו

לכן

2. מה שנע תמיד נמצא במנוחה

3. הזמן נמצא ב'כעת' לא ניתן לחלוקה

ולכן תזוזה אינה מן האפשר. עקרון אי הוודאות פותר את הפרדוקס – הוא אומר שכשמשוהו זו, זה לא שיש לו מהירות מסוימת, זה אומר שאין לו מהירות. כיש מהירות – הוא בסופרפוזיציה של כמה מקומות. התשובה הקלאסית היא שברגע מסוים, החלקיק לא נח – יש לו את המהירות הרגעית.

בקצרה – סופרפוזיציה פותר הרבה בעיות. אבל יתכן שיש פתרונות אחרים.

ניסוי שני הסדקים והסתברות לא קלאסית / מאיר בוזגלו (הקובץ שנשלח במייל)
 עמדה, שמציג בוזגלו, היא שחוקי ההסתברות השתנו (עיון נ"ו – 56). כזכור, בעולם התת אטומי חוקי ההסתברות משתנים. הדבר דומה לטענה שהגאומטריה משתנה בהסתברות כללית.

העמדה מעוררת שתי שאלות:

האם זה קוהרנטי לומר שחוקי ההסתברות משתנים? הדבר דומה לטענה שחוקי הלוגיקה משתנים. אפשר בכלל לתאר ניסוי שמשנה את חוקי הלוגיקה? מרבית הפילוסופים טוענים שלהפריך את חוקי הלוגיקה זה בלתי אפשרית - שכן חוקי הלוגיקה הם התנאים לכל חשיבה.

פטנם ודמט התווכחו ביניהם על שאלה זו, ולאחר 20 שנה פאטנם חזר בו. לאחר מכן הוא אומר שיכול להיות שיום אחד החוקים האלה ישתנו, אבל נכון לעכשיו אני בכלל לא מבין מה זה אומר.
מה עם ההסתברות. עם כן? כמו הלוגיקה, הלא ניתנת לשינוי, או כמו הגיאומטריה, לה יש חלופיות.

פיטובסקי טען שצריך לשנות אותם, בוזגלו לא בטוח. בשביל להבין זאת, צריך להבין איזה חוק הסתברותי יש לדחות. הכלל הוא הכלל הבא - נניח A ו B מאורעות זרים, אזי

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B)$$

נשים לב, שכדי שנצטרך לשנות את הכלל, צריך להניח ש A ו B זרים - כלומר, להניח שפתיחת סדק A כאשר B פתוח לא משפיעה על ההסתברות של המעבר ב A . כלומר, מניחים שפתיחה או סגירה של סדק אחד לא משפיעה על הסדק השני. אחרת, אין שום סיבה לשנות את ההסתברות.

הדיון מתבסס על ההנחה הנ"ל, ואין לו מקום בלעדיה.

נשים לב, שתורת ההסתברות משתמשת בשפת הלוגיקה. צריך לשים לב אם שינוי בהסתברות לא יגרם לשינוי בתורת הלוגיקה. אפשר לפתח את ההסתברות מתורת הקבוצות, ויש הטוענים שתורת הקבוצות היא לוגיקה.

Proposition A: Each electron *either* goes through hole 1 *or* through hole 2. אזי אם כך, איזה סיבה יש לנו לשנות את חוקי ההסתברות? אם אין 'או' בין חור 1 ל 2, למה חוק ההסתברות $P(A \cup B) = P(A) + P(B)$ צריך להיות נכון? אחד מהם לא נכון, לא צריך ששניהם לא יהיו נכונים...

או שמקבלים את עקרון A , ואז צריך למצוא סיבה למה $P(A \cup B) = P(A) + P(B)$ לא מתקיים, או שלא מקבלים את עקרון A , ואז אין סיבה ש $P(A \cup B) = P(A) + P(B)$ יתקיים.

לדעתו של בוזגלו, אי אפשר להגיד שהפרכנו את שניהם, ללא להסתבך בסתירה. המאמר מביא הקבלה מהיחסות וחיבור מהירויות.

בוזגלו חוזר ואומר שהייזנברג חטא בהאשמת יתר (מאשים גם את חוקי ההסתברות, וגם את עקרון A הנ"ל). פיינמן לא חטא בכך - הוא מציע את שתי הפתרונות (להאשים או את עקרון A או את חוקי ההסתברות).

פיינמן אומר שיש 'או' סטנדרטי כאשר יש מכשיר מדידה, ואם אין - אז זה 'או' אחר. אז למה אנחנו מצפים שיתקיים הכלל $P(A \cup B) = P(A) + P(B)$?

פיינמן מציג בעצם את שתי האופציות, במאמרים ובפרסומים שונים. מאוחר יותר, הוא אומר שאפשר להגיד שהחלקיק עבר ב-A או B, אבל אסור להסיק מזה כלום.

לבוזגלו חשוב להזכיר שיש כאן מצב חדש – סופר פוזיציה.

ההסתברות מניחה את הכללים הבאים (חוקי BOOLE):

$$P(A \cap B) \leq P(A)$$

$$0 \leq P(A) \leq 1$$

$$P(A \cup B) \geq P(A)$$

$$P(A) + P(B) \geq P(A \cup B)$$

BOOLE טען שהחוקים הנ"ל לא ניתנים להפרכה. פיטובסקטי טוען שיש מצב שראינו הפרכה של חוקים אלו בניסוי שני הסדקים. בוזגלו טוען שלהגיד שמה שהופרך זה חוקים אלו זה בעייתי ביותר.

לסיכום, יוצא שאם דוחים את עקרון A, אזי זה לא קוהרנטי להגיד שחוקי ההסתברות הופרכו (הייזנברג, פיינמן). אם מקבלים את עקרון A, עדיין אי אפשר להגיד שחוקי ההסתברות הופרכו (לפי פרשנות פיטובסקטי). יוצא – בכל מקרה, חוקי ההסתברות לא הופרכו.

3.6.2007

בוזגלו הבין שהמאמר שהוא רצה לשלוח קשה, ולכן החליט לתת קצת הקדמות.
היום נדבר על:

- אי מוגדרות
- סימטריה

אי מוגדרות

באה מעקרון אי הוודאות – כשקורה שלא שאנו לא יודעים איפה החלקיק, אלא מיקומו לא מוגדר.
מדובר על אי מוגדרות אובייקטיבית, במקרה זה (מניחים שלא מקבלים את תורת המשתנים החבויים).
מה הכוונה 'לא מוגדר'? האם האי מוגדרות שנגררת מהסופר פוזיציה היא 'אי מוגדרות' המוכרת לנו, או שהיא שונה?

סוגי אי מוגדרות המוכרים:

- לא מוגדר אם 'אוסטרליה מעל בריטניה' – אין משמעות לשאלה? אובייקטיבית, אי אפשר לשאול 'מי למעלה, ומי למטה'. סובייקטיבית, לצופה, יש משמעות. יש הטוענים כי זה אותה רמה של אי מוגדרות כמו מיקום חלקיק במכניקת הקוונטים.

- $\frac{1}{0}$ לא מוגדר. 2^{-2} לא מוגדר (אם מניחים שחזקה היא קיצור של כפל). נשים לב שזה נהפך

$$\frac{1}{0} = \infty, 2^{-2} = \frac{1}{4}$$

- מתי קבוצת שעורים היא ערימה?

נניח שאדם הוריש 100 ש"ח ל-3 ילדים. אבל הוא דרש שלהוריש 2 מהם 100 ש"ח, אבל שאחד מהם יקבל, ושואחד בכל מקרה לא יקבל כלום (התוחלת היא 50,50,0). לכולם, לפני שהוחלט, אין כלום, אבל יש כאלה שיש להם תוחלת לכסף, ויש אחד בלי. אי הודאות הזו היא הכי קרובה לאי ודאות שאנו רואים במכניקת קוונטים.

סימטריה:

ניתן לומר שמצב שני הילדים בירושה, הוא סימטרי.
מה זה דבר סימטרי? אם נבצע פעולת שיקוף, נגיע לשני דברים זהים. שיקוף זו פונקציה מהמישור למישור (מהנקודה הימנית לשמאלית, לדוגמא). הפונקציה צריכה להיות חח"ע ועל מהמישור לעצמו.
זהות היא פונקציית סימטריה באופן טריוויאלי.
עבור ריבוע לדוגמא, יש את פונקציות הסימטריה הבאות:

1. זהות
2. 2 אלכסונים
3. רווח
4. אורך

למעגל יש אינסוף פונקציות סימטריה, כמובן. לכל גוף אפשר להתאים מספר, שמסמל את מספר פונקציות הסימטריה שלו.

שבירה של סימטריה, הוא תהליך פיזיקלי, שבשלו, גוף מאבד את מספר פונקציות הסימטריה שלו.
משטח הומוגני בד"כ הוא בעל אינסוף פונקציות סימטריה, וכשהוא הופך לגביש, נשארות לו כ-6 סימטריות. בקפיאה (מהפך לגביש), יש תהליך של שבירת סימטריה.

עקרון קירי: יש תאוריה הגורסת שבכל תהליך פיזיקלי, כל סימטריה בסיבות נשמרת בתוצאות (ולכן,

כמות הסימטריה בעולם עולה, לפחות במובן החלש). אז איך מוסברת שבירה של סימטריה?

1. לדוגמא, במקרה ובו כדור עמד על עיפרון ונפל, לא היתה באמת סימטריה, ולכן לא היתה

סימטריה שנשברה. היתה כאן גדילה של אי סימטריה, לא שבירת סימטריה. לפי גישה זו, אין

באמת הרבה סימטריה בעולם.

10.6.2007

נדון הפעם ובפעם הבאה במאמר שנשלח לנו ('אי מוגדרות, סימטריה ושתי תופעות קוונטיות').



C:\Documents and Settings\Avi\My Docu

רקע למאמר – רציונליזם נוסח לייבניץ. בוזגלו ניסה לא לפנות לרציונליזם בתור תאוריית רקע באופן מפורש. איפה הרציונליזם הופיע – עקרון קירי. בנוסף, הרעיון שאפשר לשאול על ה'טעם' של הפיזיקה הוא לייבציאני.

נשים לב – לאחר קאנט, הפילוסופיה ניסתה להיות כמה שיותר אמפירית – כאשר קאנט עצמו מוצג כרציונליסט. זוהי טעות, כי קאנט עצמו היה אנטי רציונליסט – הוא אמנם היה תלמיד של לייבניץ, אבל עזב אותו.

אחד הדברים העיקריים שקאנט ויתר עליו – **זה רעיון הטעם**. אצל לייבניץ – כל המשפטים האמיתיים הם אנליטיים (רעיון הטעם המספיק). אצל קאנט – חס וחלילה.

לדוגמא – נניח ואני רוצה לבנות פרפטום מובילה. הגישה האמפירית – אני מנסה, ומגלה שאני לא יכול, ובונה תאוריה. רציונליזם – מחפש את הטעם לכך שאני לא יכול לבנות אותה. לדוגמא – עד איינשטיין, גילו שמהירות האור קבועה. איינשטיין, הסביר את הטעם לכך.

הערה (שלי): מה ההבדל המהותי? אם אנו לא מגיעים למשפט אנליטי, גם ברציונליזם (סטייל בוזגלו) וגם אמפרציסטי, מתישהו מגיעים לשכבה אקסיומטית (בין אם זה עקרון קירי, ובין אם זה קבוע, או כל דבר אחר שהוא). אין שום הבדל מהותי בין ההסברים הללו – ועקרון הטעם נכשל תמיד באקסיומות. כך, שלדעתי, אין כאן שום אמפרציסטי.

תשובת בוזגלו: לסימטריה יש 'טעם' משל עצמה, והיא עדיפה על פני עקרון אחר. עקרון הטעם המספיק שקול לסימטריה, שקול לרציונליזם.

השאלה במאמר – למה **עקרונית** אי אפשר למדוד גם מהירות וגם מיקום בו זמנית בדיוק אינסופי?

אנו נדבר על סימטריה כמו גודל – שעוברת ממשתנה אחד למשתנה שני.

עקרון אי הודאות אומר – אי אפשר למדוד מקום ומהירות בו"ז. בנוסף – אין מקום ומהירות בו"ז (הרחבת בוזגלו – לא העקרון). אז באיזה מובן אני מדבר על מקום ומהירות? אולי לא במובן הסטנדרטי? אז אם לא במובן הסטנדרטי, באיזה מובן כן?

בוזגלו מקווה להציע אפשרות אחרת להסתכל על הבעיות שהוצבו בפנינו. מה שהוא מנסה להראות, זה שהתהליכים שאנו צופים בהם במכניקת קוונטים מצביעים על 'נדידה של סימטריה'.

נתחיל בכמה הנחות:

1. אי המוגדרות שאנו נתקלים בה במכניקת קוונטים היא חיובית - אונטולוגית, לא אפיסטמית. בנוסף, זה לא אותה אי מוגדרות כמו 2^0 , שאפשר להרחיבה. אי אפשר גם לדבר על גודל האי מוגדרות שאנו נתקלים בה. בעיה שצריך לשים עליה את הלב – יכול להיות שהמיקום של שני חלקיקים לא מוגדר, אבל מוגדר המרחק ביניהם. בנוסף, מדובר בחוסר מוגדרות תחום – מכילים את ההסתברות, ואת מרחב האופציות.
2. אי מוגדרות חיובית 'נושאת' סימטריה – בשל המצב הסימטרי, אנו מוצאים הסתברויות זהות. יש גם הטוענים שמדידה היא שבירה של סימטריה. החלקיק מקבל מאסה כאשר נשברת הסימטריה – עברה ממקום אחד לשני.

17.6.2007

הערה מהפעם הקודמת

מה הרווחנו אם אפשר לפתור את הבעיות של קוונטים עם סימטריה? מושג הסימטריה הוא 'לוגי', אם יש משמעות למילה לוגי. למה? סימטריה דומה למושג הזהות. סימטריה היא איזומורפיזם, שהוא מושג לוגי. יותר אלגנטי לנסח חוקים במרחבים של סימטריה מאשר מרחבי הילברט או מרחבים וקטוריים.

עקרון קירי: כמות הסימטריה במרחב נשמרת או גדלה. יש עם זה בעיה – שבירה של סימטריה. פתרון של זה זה להגיד שהיתה הפרעה בסימטריה שרק גדלה, ויש תשובה שהסימטריה נשמרת במרחב הפתרונות.

הפואנטה של המאמר היא שהבעיות במכניקת קוונטים יתכנו להפתר על ידי המושג – נדידה של סימטריה, הכללה של עיקרון קירי. לדוגמא – סימטריה ממשנתנה המקום תעבור למהירות. מדובר באותה סימטריה שנשמרת באותה מערכת, אבל נודדת לאיכות פיזיקלית אחרת. כעת, נראה איך זה עובד.

אי מוגדרות חיובית – מצב פיזיקלי – לדוגמא, זוג תאומים שאחד מהם מקבל 100 ש"ח. בניגוד לאי מוגדרות שלילית, היא יכולה לשאת סימטריה.

הרעיון הוא שסופרפוזיציה היא מצב של אי מוגדרות חיובית נושאת סימטריה.

הנימוק המרכזי שמצב אי מוגדרות חיובית נושא סימטריה הוא ההתנהגות ההסתברותית. התנהגות הסתברותית היא אינדיקציה לסימטריה. אם יש לי אי מוגדרות חיובית, ויש לי הסתברות, סביר להניח שאי המוגדרות החיובית הזו נושאת סימטריה.

הנימוק השני הוא הרעיון שמדידה היא שבירה של סימטריה (הנימוק לזה – ספרות גדולה). זה פותר את הבעיה של גדלים צמודים.

נחזור לחידות הפיזיקליות של גדלים צמודים והתאבכות.

התאבכות

ההתנהגות של החלקיקים דומה להתנהגות גלית. למה שחלקיקים יתנהגו כגל? למה אנו רואים שם התאבכות הורסת?

הצעת בוזגלו – אין גלים. בואו ננסה לפתור את הבעיה במונחים של סימטריה:

כאמור, הביטוי "התאבכות" קשור במושג הגל. מבחינה זו הוא אינו נבדל מן הביטוי "תדירות", "מחזור" וכד'. בעקבות פיינמן, יש לראות את ההרחבה של רעיון זה לחלקיקים בגלל שהמתמטיקה המתארת את ההסתברות לפגיעה באיזור מסויים במסך זהה למתמטיקה שאנו מגלים בניסוי שני הסדקים כאשר יש לנו תופעה גלית ביסודה. עד כמה שמדובר בגלים במים או גלים אלקטרומגנטיים הרי שהמתמטיקה השולטת בגלים אלו ברורה ונובע מעקרון הויגנס ומעקרון הסופרפוזיציה. ואולם, אנו לגמרי מודעים לכך שאין ביכולתנו לרדת למציאות הפיזיקאלית ביסוד המתמטיקה הזו כאשר מדובר באלקטרונים הנורים מן התותח בניסוי שני הסדקים. ולא רק שלא גלינו את הבסיס הפיזיקלי למתמטיקה זו, אלא עצם הכרתנו שאלקטרונים הם חלקיקים חוסמת כל אפשרות אנלוגיה כזו.

ואולם, אם מקבלים את ההערות לעיל, אפשר להגדיר מושג של התאבכות כללי שנותן, באופן איכותי, את האפשרות להתאבכות הורסת (ובונה), בלי לפנות לרעיון הגלים כלל. להלן ניסוח ראשוני. פתיחה של סדק או סדקים נוספים מגדילה את אי המוגדרות החיובית של מקומו של החלקיק. כאן כדאי לזכור את המאפיין הראשון לא המוגדרות החיובית. כך, כאשר סדק אחד פתוח אין לנו אי מוגדרות, ואילו כאשר שני סדקים פתוחים ואיננו מודדים היכן עבר החלקיק או יש לנו יצירה של אי מוגדרות, ואילו כאשר אנו פותחים סדק שלישי הגדלנו את אי המוגדרות החיובית, משום שכעת מקומו של החלקיקי הוא יותר לא מוגדר. הגדלה זו אינה אלא הגדלה של הסימטריה במצבו של החלקיק מבחינת המקום, וזו צריכה להתבטא בהקטנה של סימטריה במשתנה אחר – התנע. כעת, יש יחס של אחד לאחד בין הסימטריה במצב התנע של החלקיק, לבין נקודות הפגיעה על המסך. הקטנה של הסימטריה בתנע מתבטאת איפוא באי פגיעה של החלקיק במקומות הוא פגע בעבר. לזה אנו קוראים "התאבכות הורסת".

התאבכות היא תוצאה של ההגדלה של אי המוגדרות בגודל מדיד אחד. הגדרה זו אינה מפנה כלל לרעיון הגל. מכאן נקבל את המושג הכללי של התאבכות בונה והתאבכות הורסת. אחת התוצאות של התאבכות הורסת היא הקטנה של הערכים שמשתנה אחד יכול לקבל, ובגלל העובדה הבסיסית שסכום ההסתברות של כל הערכים הוא אחד, נקבל שאחד הערכים לפחות יקבל ערך גדול יותר, ובמילים אחרות "התאבכות בונה".

גדלים צמודים

אנו מגיע כעת לתופעה של גדלים צמודים. מדידה היא הקטנה של אי המוגדרות החיובית. זה מושג כללי יותר של מדידה שבדרך כלל נתפס כמעבר מערך לא מוגדר לערך יחיד. הקטנה זו של אי המוגדרות צריכה להתבטא בהגדלה של אי המוגדרות במשתנה אחר, אם אנו מקבלים את העקרון שסך כל הסימטריה משתמר. הבסיס הפיזיקאלי ביסוד המונח בגדלים צמודים הוא בהיותם של אלו גדלים שהסימטריה באחד יכולה לעבור לסימטריה בשני ולהפוך. ההגדרה לעיל של המדידה כנדידה של סימטריה מגודל מדיד אחד לאחר מסבירה מדוע אי אפשר להקטין בבת אחת את הסימטריה של שני גדלים אלו בבת אחת, וממילא אל הקשר בין הקטנת אי המוגדרות במשתנה האחד להגדלת אי המוגדרות במשתנה האחר.

דוגמא פשוטה

כמות הסימטריה מאופיינת ע"י חבורה.

נניח ולחלקיק יש שלוש תכונות - $s_x, s_y, s_z \in \{1, -1\}$. לא ניתן לייחס לחלקיק שני ספינים בו"ז - הקבעות של ספין אחד הורסת את הקבעות בכיוון האחר.

נדבר על 'משפחה של ניסויים' - הרי ניסוי שני הסדקים הוא 4 ניסויים. במקרה שלנו - המשפחה היא כל הסידורים של מדידות הספינים. עיקרון אי הודאות יהיה להגיד שלכל הניסויים במשפחה יש חבורה של סימטריה, שנשמרת לאורך כל הניסויים. לדוגמא - מצב של חלקיק יהיה

$$V = \langle 1_x, \{1_y, -1_y\}, \{1_z, -1_z\} \rangle$$

- בכיוון x , הספין הוא 1, בכיוון y ו z מתחלק חצי חצי.

חלקיק אחר הוא $\langle -1_x, \{1_y, -1_y\}, \{1_z, -1_z\} \rangle$, לדוגמא. כמובן שיש עוד אופציות.

$$f(1_x) = 1_x$$

$$f(-1_x) = -1_x$$

$$f(1_y) = -1_y$$

$$f(-1_y) = 1_y$$

נגדיר לדוגמא פונקציה $f: A \rightarrow A$ חח"ע ועל, שמעבירה את

$$f(1_z) = 1_z, f(-1_z) = 1_z$$

במקרה זה, $f(V) = V$. $Id(V) = V$. קבוצת כל הטרל"נ הללו היא חבורת סימטריה. נדידת

הסימטריה תהיה בין הקוארדינטות בוקטור.

השאלה הפילוסופית הרצינית העולה - כמות הסימטריה הופכת לגודל כמו אנרגיה ומאסה. נהיה כאן 'חוק שימור הסימטריה'.

24.6.2007

מבחן: נקבל קבוצה של שאלות, ונקבע יום – יומיים וחצי, בהם נקבל את הדפים, ונפתור את זה. המבחן יהיה מבוסס על מה שקראנו ודיברנו.

ברקלי

'אצל ברקלי הכל אידאות'

הייזנברג חשב שהמדידה מייצרת את התופעה, ומזכיר את ברקלי. איינשטיין התנגד לברקלי, ולכן לא קיבל את הרעיונות הללו של תורת הקוונטים.

יש הצעה לראות את ברקלי כאונטולוג – הוא טוען שיש מרחב של דברים, שעבורם להיות זה להיות נתפס. יש דברים, שעבורם להיות זה להיות תופס (בני אדם ואלוהים).
ברקלי לא מסכים עם המבחן של יום – מה שיש זה מה שיש לי רושם ממנו.

כל תהליך, בחלל ובזמן, להיות עבורו – זה להיות נתפס. ובזגלו מוסיף בשמו – גם להעלם.
ברקלי הסתמך על האל כדי שהדברים יהיו קיימים גם בלי האל. הערה – תמיד אומרים שאצל ברקלי, הדברים נעלמים כשלא נתפסים. זה לא נכון לדעת בזגלו – הם פשוט לא נתפסים, זה לא אומר שהם נעלמים.

בקיצור – ברקלי לא טען שהירח לא קיים כשאין אף אחד מסתובב (גם בלי אלוהים) – כדי להיווצר צריך שנתפוס ירח נוצר.

אטומים

היו כאלה שאמרו שעובדת קיום האטומים מראה שברקלי טועה. השאלה היא אם ברקלי טען שיש / אין אטומים?

ברקלי לא לוקח את הביטוי 'ישנו' כביטוי אטומי לא פריק.

ברקלי אומר שעבור אטומים, להיות זה להיות ישים שמסבירים את התופעות בעולם החושים. **האטומים**

אינם יש שמהותם הוא להיות נתפס. מהותם הוא להסביר תופעות. זוהי עמדה אינסטרומנטליסטית.
קווין יאמר – לא ברור מה זאת אומרת שהם 'לא קיימים', אבל הם עוזרים לנו להבין ולחשב. אפשר לענות לו שהם קיימים, פשוט במהות מסוג שונה.

EPR וברקלי

מה היה שם? סט של ניסויים, סט של תוצאות, ואני לא יכול להגיד שכל הגדלים היו מוגדרים לפני המדידה. מה קרה שם?

נטען שאני לא יוכל לומר שחלקיק היה בספין א' או ב' לפני המדידה. יש כאלה שאומרים שזה אישור לכך ש $p \vee \neg p$ לא נכון. מעין אישור אמפריציסטי לטענה אידיאליסטית.

דאמט טוען שזה מוזר לו שיהיה אישור אמפירי לטענה מטאפיזית. אבל, תורת הקוונטים מוכיחה שיתכן כזה דבר. יש עם זה בעיה.

נגדיר p - הספין מסתובב בכיוון חיובי. עם כך, $\neg p$ לא אומר שהספין שלו בכיוון שלילי. זה אומר שלא נכון שהספין שלו מסתובב בכיוון חיובי. אתה יכול להגיד ש q זה שהספין שלו בכיוון שלילי. אבל אז אין את הסתירה.

לוגיקה אינטואיציוניסטית : לא בהכרח $p \vee \neg p$. בהכרח $(p \vee \neg p) \rightarrow$. למה זה לא שקול? לא כאן.

בכל זאת – יתכן מצב שיהיה חלקיק שלא אוכל לייחס לו מיקום. המיקום יהיה לא מוגדר באופן חיובי. התכונה של המיקום לא מתמידה – אי אפשר לייחס אותה כשהיא לא נמדדת. פתאום, נפתחת האפשרות לכך שזה שהעצמים מתמידים, זה בגלל הפיזיקה שיש לנו. הסיבה לכך איננה שיקול סמנטי.

אם אנו רואים שזו רק הנחה שהעצמים מתמידים, והיא לא מתקיימת בנוגע לעצמים מיקרוסקופיים, אז אולי נוותר עליה גם על עצמים מקרוסקופיים?

אנו רואים שיש רלוונטיות לגילויים בקוונטים לפילוסופיה של ברקלי.

1.7.2007

שיעור אחרון ודי
קוונטים וניו אייג'

המבחן

חומר למבחן – מה שנלמד כאן ומה שהתבקשנו לקרוא.

ראשית נתבונן בקטע של האר"י (אחד מאבי הקבלה) על שבירה של סימטריה – המכניזם של הבריאה עצמו קשור בשבירה של סימטריה.

הקטע הוא מ'עץ חיים' – בראשית היה אור הומוגני אינסופי. בשביל לברוא את העולם הוא צריך ליצור מקום שהוא לא נמצא בו כדי שיוכל לברוא. הרי, אין משהו מעבר לו, אין אתר פנוי ולכן זה דורש התכנסות של האלוקי לתוך עצמו. הבריאה זה מה שאלוהים עזב. חלל – מה שאלוהים עזב, מקום שהופעה האלוהית בו פחותה. יש כאן שבירה של הומוגניות.

הבריאה היא בריאת אפשרות – בריאת אפשרות להתכוון אליה. מושג הסימטריה נשמר כאן – הוא חלק מהשפה, הדימיון הקבלי.

הצמצום בבריאה נעשה תוך סימטריה.

כל הבריאה מכוונת לעולם העשייה, עולם בעל אנשים עם אפשרות בחירה.

כל מה שנשאר בחלל יש בו רושם, ויש בו מה שזוכר את אלוהים. מכאן יש קו – קו התפילות, והוא התוספת של הדת על הפילוסופיה. מדובר בקו שובר סימטריה. מהקו מתחילות להיוצר ספירות.

הרמב"ם

כמה שהרמב"ם רחוק מהארי, רואים בכל זאת רמיזה ביניהם. הרמב"ם לא אוהב את האל הפילוסופי. הוא לא מנסה לעמוד מול האתאיסט. השאלה היא אם יש כוונה בבריאה?

אם יש כוונה, אז אפשר להסביר הרבה נושאים דתיים (התגלות, גאולה,...), אחרת, לא. הוא מנסה להראות שיש, בעוד אריסטו ושפינוזה טוענים שאין.

המציאות נאצלה מהבריאה על דרך החיוב – כמו שמסקנה נובעת מהנחות בלא כלום גם כך העולם. חוקי האל הם חוקי הטבע, ולכן אי אפשר להפרם – ולכן גם אין כוונה. זה דומה לשפינוזה.

הבעיה היא שביהדות חייב להיות מרחק בין השניים, העולם לא מחויב מהאל אלא בכוונה. האלמנט של רצון הכרחי.

אם העולם הוא מחויב, אז סימטריה גוררת סימטריה, היינו צריכים לראות בעולם הומוגניות מוחלטת. רק אם יש כוונה אפשר לראות את האסימטריה הנוצרת מסימטריה.

אי סימטריה נובעת מכוונה אלוהית – לדוגמא, כשאלוהים בחר עם, זו שבירה של סימטריה. שבירת הסימטריה מוכיחה את האל הדתי. (לעומת האל הפילוסופי, שהסימטריה מוכיחה אותו).