

אוניברסיטת תל-אביב

הפקולטה למדעי הרוח ע"ש לסטר וסאלי אנטין
החוג לפילוסופיה

הקבלות בין תורת הקוונטים לפילוסופיות מזרחיות

עבודה סמינריונית במסגרת תואר B.A בחוג לפילוסופיה

הוגשה במסגרת הקורס: עולם חיצון, אמת ופיסיקה

בהנחיית: פרופ' יצחק בן-ישראל

מגיש: עמי ריין

מס' זהות: 02748665/3

תאריך: 29/07/2001

תוכן הענינים

פרק 1: פתח דבר

פרק 2: מבוא מושגי

פרק 3: הקדמה

3.1 תורת הקוונטים ומעמדה

3.2 על מה הויכוח? מה המשמעות של פרשנות של תורה פיסיקאלית?

3.3 החיבור למזרח

פרק 4: בעיות מושגיות בתורת הקוונטים וההקבלות אליהן

4.1 דואליות:

4.11 קוונטים - גל חלקיק

4.12 מחשבת המזרח - אחדות הניגודים

4.13 דואליזם – החיבור של נילס בוהר

4.2 אובייקטיביזם?

4.21 עקרון אי הוודאות ובעית המדידה

4.22 מזרח – סובייקטיביזם

4.23 הקבלה בין בעית המדידה בתורת הקוונטים לסובייקטיביזם

במחשבת המזרח

4.3 זהות:

4.31 בעית הזהות

4.32 בודהיזם – אנאטמן

4.33 הקבלה בין בעית הזהות בתורת הקוונטים למושג האנ-אטמן

בבודהיזם

4.4 שפה:

4.41 שימוש במושגים קלאסיים

4.42 ההתייחסות לשפה במחשבת המזרח

4.43 הקבלה בין שימוש במושגים קלאסיים בתורת הקוונטים

וההתייחסות לשפה במחשבת המזרח

פרק 5: מבט ביקורתי על ההקבלות

פרק 6: סיכום

ביבליוגרפיה

פרק 1 : פתח דבר

אחת מן ההתפתחויות החשובות בפיסיקה של המאה ה-20 היא תורת הקוונטים. קריאה בכתביהם של חלק מן הפיסיקאים שעסקו בחקר תורת הקוונטים מגלה פן מעניין בבסיס הפילוסופי של מחקרם. מסתבר שקשיים מושגיים בתורת הקוונטים הובילו את אותם חוקרים להתעניינות בפילוסופיות מזרחיות. הקשר שבין תורת הקוונטים לפילוסופיה המזרחית מהווה את הנושא בו אדון בעבודה זו.

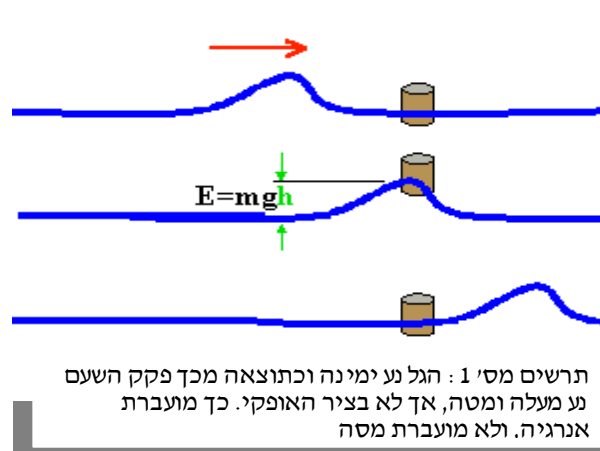
בפרק ההקדמה אסקור את תורת הקוונטים ואציג את הקשיים הפרשניים שהיא יצרה וכתוצאה מקשיים אלה את הענין שמצאו פיסיקאים בפילוסופיות מזרחיות. פרק 4 - "בעיות מושגיות בתורת הקוונטים וההקבלות אליהן" - הוא הגוף העובדתי של העבודה ובו אציג הקבלות בארבעה מישורים. את ההקבלות אבצע באופן הבא : סעיף ובו הצגת הנושא בתורת הקוונטים סעיף שני בו הצגת הנושא במחשבת המזרח ולבסוף סעיף הבוחן את ההקבלה ביניהם. בפרק 5 - "מבט ביקורתי על ההקבלות" - אציג את התגובות האפשריות להקבלות ואת הדרך הנכונה להתייחס אליהן לדעתי.

פרק 2 : מבוא מושגי

על מנת למנוע סטיות מהתוואי המרכזי אותו אני מעוניין להציג, אך לוודא בהירות של מספר מושגים חשובים בתיאוריות בהן עבודה זו עוסקת, אציג מושגים אלה כעת :

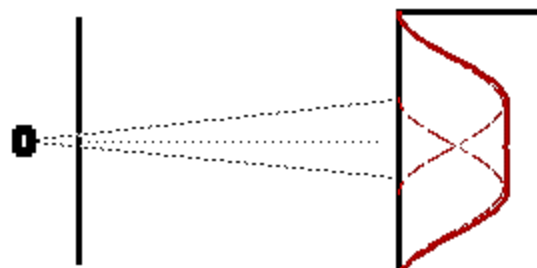
מושגי הגל והחלקיק בפיסיקה הקלאסית

חלקיק וגל הם שני מושגים מרכזיים בפיסיקה הקלאסית. חלקיק הוא עצם בדיד, בעל מקום מוגדר במרחב. גל הוא התקדמות של הפרעה, הוא רציף ומתפרש במרחב (דוגמא : "אולה" במגרשי הכדורגל בו נדמה כאילו יש תנועה אופקית, למרות שאף אחד מהצופים לא נע בכיוון האופקי). גלים מעבירים אנרגיה ממקום למקום ללא העברת מסה כפי שניתן לראות בשרטוט בו פקק השעם עולה ויורד אך אינו נע ימינה¹ :



מכיוון שחלקיק בניגוד לגל הוא בעל מקום מוגדר במרחב, אף אובייקט אינו יכול להיות בו זמנית גם חלקיק וגם גל. יש תופעות חלקיקיות ותופעות גליות הסותרות זו את זו. למשל, במעבר דרך סדקים חלקיקים וגלים מתנהגים באופן שונה :

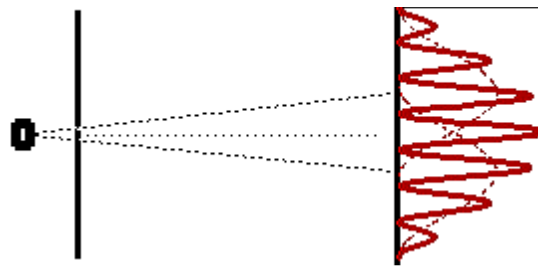
במעבר חלקיקים דרך סדק אחד יוצר שיא חד אחד מול הסדק, וחלקיקים העוברים דרך שני סדקים יצרו תבנית של שני שיאים מול הסדקים (כששיאים אלה קרובים הם לעיתים מתאחדים) :



תרשים מס' 2 : תמונה של שני שיאים מתאחדים הנוצרת במעבר חלקיקים דרך שני סדקים

לעומת זאת במעבר גל דרך סדק אחד תוצר תבנית המכונה עקיפה. ובמעבר גל דרך שני סדקים תיווצר תבנית המכונה התאבכות :

¹ השרטוט לקוח מ- <http://www.sciencejoywagon.com>



תרשים מס' 3: תמונת התאבכות הנוצרת במעבר גל דרך שני סדקים

בפיסיקה הקלאסית התנהל ויכוח לגבי מהות האור, האם הוא אוסף חלקיקים או גל. ויכוח זה הסתיים בחצי השני של המאה ה-19 כשבאור התגלו תופעות ההתאבכות והעקיפה.² בסוף המאה ה-19 התברר שגלי האור הם טווח תדירויות מסוים מתוך הגלים האלקטרומגנטיים הכוללים גם גלי רדיו, אינפרא אדום ואולטרא סגול.

קיטוב (פולריזציה)

תכונה של אור המוכרת מאז המאה ה-17. במעבר אור דרך מקטב (מקטב הוא לוח פלסטיק שקוף חלקית בדומה לחומר ממנו עשויות משקפי שמש) חלק מן האור מוחזר וחלק עובר. הכיוון בו מוצב המקטב משפיע על כמות האור העוברת דרכו. אם נציב מקטב נוסף המכוון באותו כיוון כמו הראשון עוצמת האור לא תחלש (כלומר כל האור שעבר דרך המקטב הראשון יעבור דרך המקטב השני). כאשר נציב מקטב נוסף בכיוון הניצב לכיוון בו היו מוצבים השניים הראשונים האור לא יעבור בכלל. ההבדל בין האור העובר דרך המקטב לבין האור המוחזר ממנו נעוץ בתכונת הקיטוב של האור. קיטוב הוא התכונה של האור שתקבע האם יעבור דרך מקטב מסוים או יוחזר. את ההסבר לתכונת הקיטוב סיפק יאנג: אור הוא גל ולכן ניתן להציגו כחבל אותו אנו מניעים בצד אחד וקצהו השני מקובע. ניתן להניע את החבל מעלה מטה (תנועה לכיוון זה משמעותה קיטוב אנכי) או ימינה שמאלה (קיטוב אופקי). אם נציב חריץ אנכי ונניע את החבל מעלה מטה מלוא תנועת הגל תעבור, אם נציב חריץ המאונך לתנועת החבל תנועת הגל תחסם במלואה. כיוון החריץ מקביל לכיוון בו נציב את המקטב.

עקרון הלוקליות

עקרון בסיסי במדע המופיע כבר אצל אריסטו הקובע שאין השפעות ישירות ממרחק. כלומר, כל גוף משפיע רק במקום בו הוא נמצא ובסביבותיו. ארוע במקום מסוים אינו יכול להיות סיבתו הישירה של ארוע במקום אחר. לדוגמא, אי אפשר להניע גוף כלשהוא בלי לגעת בו. עקרון הלוקליות מחייב תיאור השפעות מרוחקות כרצף של השפעות לוקליות. למשל, נורה נדלקת כתוצאה מלחיצה על מתג המרוחק ממנה, אך למעשה לחיצה על המתג גורמת לזרימה של אלקטרונים המגיעה לנורה ולכן יש רצף פיסיקלי בין הגוף המשפיע (המתג) לגוף המושפע (הנורה). הגרביטציה בפיסיקה הקלאסית לא תאמה עקרון זה וניוטון ניסה לתקן זאת אך לא הצליח, אינשטיין תיקן זאת לבסוף בתורת היחסות בה עקרון הלוקליות נשמר. עקרון הלוקליות לא נשמר בתורת הקוונטים וזו אחת מהבעיות הקשות בה.

² ניסוי שני הסדקים של יאנג

פרק 3 : הקדמה

תורת הקוונטים ומעמדה

בתחילת המאה ה- 20 שלטה בכיפה הפיסיקה הקלאסית. ההגמוניה של פיסיקה זו שמקורה בניוטון היתה מוחלטת. היתה תחושה שהמפעל המדעי נמצא לקראת סיומו, וניכרה השפעה עזה של ה"מדעיות" על התרבות המערבית גם בתחומים שלא נחשבו מדעיים. נותרו רק כמה בעיות "קטנות". הבעיות ה"קטנות" הללו הובילו לתורת היחסות ולתורת הקוונטים שמהוות את הפיסיקה המודרנית. היתה זו מהפיכה מדעית, אך התיאוריות החדשות לא הפריכו את הפיסיקה הקלאסית לחלוטין אלא ביצעו תיקונים בקצוות. תורת היחסות בצעה תיקונים לפיסיקה הקלאסית במהירויות גבוהות מאוד (קרוב למהירות האור) ותורת הקוונטים עשתה זאת בגדלים זעירים (קטנים מגודל אטום). תיאורות אלו אף השתמשו במושגים הלקוחים מהפיסיקה הקלאסית (חלקיק, גל, מסה, אנרגיה וכו').

כפי שאפרט בהמשך תורת הקוונטים עוררה בעיות מושגיות קשות, ולכן היו הרבה נסיונות לשנות אותה או למצוא לה תחליף. מיטב הפיסיקאים עסקו בנסיונות אלה (הבולט שבהם - אינשטיין, שהתנגד נמרצות לתורת הקוונטים למרות שתרים לה רבות ואף קיבל על כך פרס נובל), אך הם כשלו. גישה אחרת שבמרכזה עמד נילס בוהר (וסביבו התקבצו פיסיקאים שכונו "אסכולת קופנהגן") גרסה שהפגם אינו בתורת הקוונטים אלא במערכת המושגית שלנו ולכן יש לקבל את תורת הקוונטים כמו שהיא ולהתמקד בתיקונה של המערכת המושגית. הויכוח בין אינשטיין ובוהר נמשך שנים רבות³, אך רוב הפיסיקאים בחרו להתמקד בישומים של תורת הקוונטים ולא במשמעויותיה הפילוסופיות.

³ למרות להיטות הויכוח היתה בין אינשטיין ובוהר חיבה והערכה רבה, כפי שניתן להתרשם מהציטוט הבא של

אינשטיין:

"I am studying your great works -when I get stuck anywhere- now I have the pleasure of seeing your friendly young face before me smiling and explaining"

הציטוט לקוח מ-

J.A. Wheeler and W.H. Zurek, eds: Quantum Theory and Measurement, Princeton University Press, 1983 p. vi

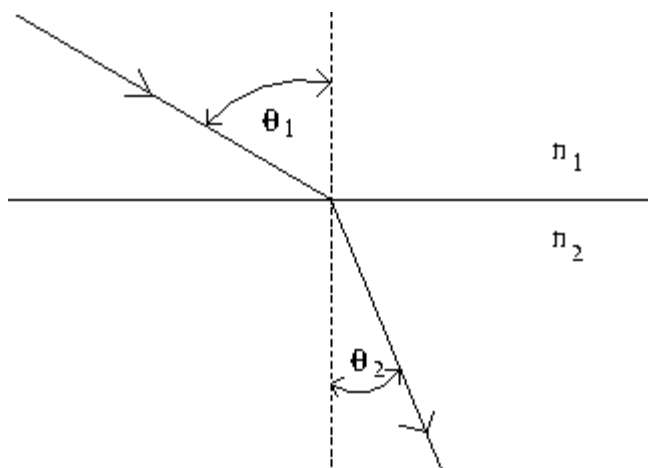


אלברט איינשטיין ונילס בוהר: שתי הדמויות המרכזיות בויכוח על תורת הקוונטים.

תורת הקוונטים נחשבת תורה פיסיקאלית מוצלחת ביותר בשל כמות ואיכות האישושים להם זכתה. אחת מהסיבות לכמות האישושים הרבה היא דווקא הנסיונות הרבים להפרכתה. תורת הקוונטים עוסקת במימדים הזעירים ומבנה האטום כפי שהוא מוכר לנו היום, אנרגיה גרעינית, מיקרואלקטרוניקה ולייזר הם תוצרים ישירים שלה.

על מה הויכוח? מה המשמעות של פרשנות של תיאוריה פיסיקאלית?

תיאוריה פיסיקלית היא תרגום של המציאות הנצפית לרכיבים מתמטיים ונוסחאות. לרכיבים המתמטיים עושים טרנספורמציות כך שיאפשרו חיזויים, ואת החיזויים המתמטיים האלה מתרגמים חזרה לשפת המציאות הנצפית על מנת לבחון אותם. התוצר הסופי של תהליך זה הוא צירוף של משוואות מתמטיות ופרשנות שלהן המאפשרים חיזויים. על מנת להמחיש אציג כדוגמא את חוק סנל הצופה את שבירתה של קרן אור העוברת דרך תווך⁴:



$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

תרשים מס' 4: חוק סנל. קרן האור עוברת מהתווך העליון המסומן כ-1 לתווך התחתון (2). הקו המקווקו הוא מיר אנכי ומיוני המשמש למדידת זוויות ההסטה של קרן האור (θ_1, θ_2)

הפרשנות הבסיסית והמינימלית לחוק זה: n הוא מקדם השבירה ו- θ היא הזווית בין קרן האור לתווך. אך התפקיד המסורתי של המדע חורג מתחזיות גרידא, עליו לתת גם הסבר לתופעה. במקרה דנן: **למה** קרן האור

נשברת? לאורך ההסטוריה המדעית התברר שניתן לתת פרשנויות שונות לאותה משוואה. למשל לחוק סנל היו שתי פרשנויות שונות שהויכוח על הנכונה מבינהן נמשך שנים רבות: גישה אחת

⁴ השרטוט לקוח מ- <http://www.uwinnipeg.ca>

הסבירה את שבירת האור באמצעות מודל חלקיקי של האור וגישה אחרת באמצעות מודל גלי של האור. אם כך על הנוסחא של חוק סנל היתה הסכמה, אבל על הפרשנות שלה התנהל ויכוח סוער⁵.

בדומה למחלוקת על חוק סנל הויכוח על תורת הקוונטים אינו על המשוואות המתמטיות, אלא על הפרשנות שלהן. כלומר מה המשמעות של התוצרים המתמטיים המוזרים המתקבלים ממנה.

החיבור למזרח

תורת הקוונטים העלתה הרבה בעיות פילוסופיות. אסכולת קופנהגן, כזכור, ראתה ייחסה פגמים למערכת המושגית שלנו. על כן, היו שניסו למצוא פתרונות לבעיות אלה במערכת מושגית אחרת- פילוסופיות מזרחיות: שרדינגר התעניין בפילוסופיות הודיות, בוהר הביע הערכתו לפילוסופיה סינית, והייזנברג מצא הקבלה בין עקרון האי וודאות שלו לרעיונות דאואיסטים. לשיאן הגיעו ההקבלות הללו בספרו של פרטיוף קאפרה (גם הוא פיסיקאי) "הטאו של הפיזיקה". ביקורת על ההקבלות תוצג בהמשך, אבל ראוי לציין כבר עכשיו שהפיסיקאים שהתענינו בפילוסופיות מזרחיות לא טענו או רמזו לכך שחכמי המזרח הכירו את צפונותיה של תורת הקוונטים, אלא חיפשו השראה בצורות חשיבה השונות מהחשיבה המערבית. להלן אציג את הבעיות המושגיות שלהן נמצאו הקבלות בפילוסופיות מזרחיות.

⁵ חוסר החלטיות כזו לא תאמה את הלך הרוח המדעי הדורש וודאות והיו שהציעו (למשל ארנסט מאך שהיווה השראה לאסכולה הפוזיטיביסטית) שיש לוותר על כל פרשנות מיותרת, ולהתעסק רק בידע הנצפה באופן ישיר. מעניין שאינשטיין סיפר (Einstein, 1989, p.67) שבתחילה נטה לגישה זו, אך עבר לקיצוניות השנייה- חיפוש האמת לא על סמך ידע אמפירי בלבד, אלא (ככל שהידע מעמיק) הסתמכות על הרציונל (Ibid p.29).

פרק 4 : בעיות מושגיות בתורת הקוונטים וההקבלות אליהן

4.1 דואליות

4.11 קוונטים - גל חלקיק

אחת מהבעיות ה"קטנות" של הפיסיקה הקלאסית שהובילו לתורת הקוונטים היתה בעית הגוף השחור. תמצית הבעיה היתה קשר מוזר בין אנרגיה וצבע (תדירות של אור) שלא היה מוכר בפיסיקה הקלאסית. בשנת 1900 תוך כדי נסיון לפתור את בעית הגוף השחור גילה מקס פלנק שאנרגיה אינה גודל רציף אלא בדיד ומחולקת למנות ($quanta$ = מנה בלאטינית). בעיה "קטנה" נוספת היתה האפקט הפוטואלקטרי: בהקרנת אור על מתכת מתקבל זרם חשמלי, ובניסויים התברר שהזרם גדל ככל שתדירות הגל שהוקרנה היתה גבוהה יותר. בשנת 1905 אינשטיין הסביר את האפקט הפוטואלקטרי באמצעות הכללת בדידות האנרגיה לאור (קביעה כי האור, בדומה לאנרגיה אף הוא אינו רציף אלא מורכב ממנות בדידות שכונו *פוטונים*). היתה זו אמירה בעיתית מכיוון שבדידות היא תכונה חלקיקית ובסוף המאה ה-19 הוכח שהאור הוא גל, אינשטיין עצמו קיבל סופית את חלקיקיות האור רק לאחר 12 שנים, והקהילה המדעית השתכנעה בכך רק בעקבות אפקט קומפטון שהתגלה ב-1922: כשמקרנים אור מסוים על מתכת תדירותו משתנית כשהוא מוחזר. התדירות משתנה יותר ככל שהזווית בין האור למתכת גדלה, וניתן להסביר תופעה זו בפשטות אם נתייחס אל האור כמורכב מחלקיקים.

הדואליות הבעיתית בין שני תיאורים סותרים לאותו אובייקט החמירה כאשר ב-1923 לואי דה ברוי העלה את האפשרות שאם לאור יש אופי חלקיק אז יתכן שלחלקיקים יש תכונות גליות. רעיון זה תאם היטב את מודל האטום באותה תקופה, וזכה לאימות בשנת 1927 כאשר התברר שגם אלקטרונים יוצרים תמונת התאבכות. דרישה בסיסית מתיאוריה מדעית (אולי הבסיסית ביותר) היא הנהרת המציאות. דואליות של גל חלקיק לא רק שאינה מנהירה את המציאות אלא אף מוציאה מאיתנו את היכולת להבין אותה.

4.12 מחשבת המזרח - אחדות הניגודים

במחשבת המזרח התיחסות רבה לניגודים וסתירות. להבדיל מן המערב בו סתירות הן כלי להפרכת תיאוריה, במזרח סתירות הן אמצעי להמחשת מוגבלות ההמשגה, הרציונליות והאינטלקטואליזם ככלל. ניגודים הם תוצר האבחנות האנושיות, כפי שניתן להתרשם מציטוט של החכם הדאואיסטי לאו דזה:

"כל העולם יודע שהיפה הוא יפה - וזה המכוער

כל העולם יודע שהטוב הוא טוב - וזה הרע

יש ואין נולדים זה מזה

קשה וקל משלימים זה את זה

ארוך וקצר מדגישים זה את זה

גבוה ונמוך נשענים זה על זה..."

לאו דזה "ספר הדרך והסגולה"

לפי הפילוסופיה הבודהיסטית אחת מהאשליות בהן אנו שבוים היא הניגודים. הפילוסוף



סמל ה-טאי צ'י טו

הבודהיסטי נגארגיונה ואסכולת הזן משתמשים בסתירות על מנת להמם את המאזין ולגרום לו להבין את מגבלות האינטלקט. הפרשן הבודהיסט הידוע ד.ט.סוזוקי ניסח גישה זו כך⁶:

"הרעיון הבסיסי של הבודהיזם הוא לעבור אל מעבר לעולם הניגודים, עולם שנבנה על ידי אבחנות אינטלקטואליות..."

דוגמא לתוצר של אחדות הניגודים במחשבת המזרח הם

מושגי היין והיאנג בתרבות הסינית. יאנג הוא היסוד הגברי, החזק,

הדינמי, הרציונלי. יין הוא היסוד הנשי, הקולט, החשוך, הפאסיבי, החכמה האינטואיטיבית.

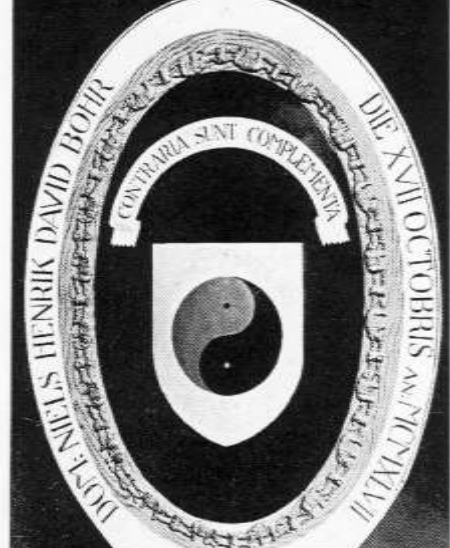
למרות ואולי בשל ניגודם רק שילוב היין והיאנג באופן מאוזן מאפשר הרמוניה. אחדות הניגודים של היין והיאנג מוצגת על ידי הסמל הסיני העתיק טאי-צ'י טו (המופיע משמאל) היין הוא החלק האפל והיאנג הוא החלק הבהיר אולם בכל אחד מהחלקים טמון זרעו של המנוגד לו.

4.13 דואליזם – החיבור של נילס בוהר

אחד מהנסיגות להתמודד עם הדואליזם בין גל וחלקיק הוא מושג הקומפלמנטריות של

נילס בוהר. בניגוד לאינשטיין שחפש תיקונים לתורת הקוונטים, בוהר ניסה לתקן את המסגרת מושגית כך שתתאים לתיאוריה. בוהר הציע להתייחס לחלקיק ולגל כאל שני תיאורים מנוגדים אך משלימים של אותה ממשות, כאשר צריך להשתמש בכל אחד מהם בהקשר המתאים. באופן יותר כללי הרעיון הבסיסי של מושג הקומפלמנטריות הוא קבלת ניגודים וסתירות כתיאורים משלימים ולא כהפרכות. התשתית לגישה זו היא שהמושגים בהם אנו משתמשים אינם יכולים לתאר את המציאות האובייקטיבית אלא רק את עולם התופעות כפי שהוא נתפש על ידי ההכרה האנושית. ניגודים וסתירות הם אם כך תוצר של מוגבלות התפישה האנושית שאין לנו אפשרות ואף לא צורך להתגבר עליה. בגישה קומפלמנטרית תיאורים סותרים יכולים להיות כולם נכונים ויחד הם יוצרים תמונה שלמה יותר של המציאות. חשוב לציין שהגישה הקומפלמנטרית אינה מקבלת סתירות שיאפשרו שתי תחזיות סותרות עבור תוצאות ניסוי מסוים, אלא רק סתירות עקרוניות בשילוב עם מנגנונים שיבטיחו שבכל ישום מעשי נקבל תחזית יחידה. תורת הקוונטים עומדת בתנאי זה משום שכפי שאתאר בהמשך, בניסוי שני הסדקים, כאשר מודדים תכונה חלקיקית האובייקט מתנהג כחלקיק, וכאשר מודדים תכונה גלית הוא מתנהג כגל.

⁶ כפי שמצוטט אצל קאפרה עמ' 135



הדמיון בין גישת הקומפלמנטריות ושלמות הניגודים במחשבת המזרח – שתי גישות הרואות בניגודים וסתירות כלי המאפשר תמונה שלמה יותר ולא תמונה מופרכת – לא נעלם מבוהר וכאשר זכה בתואר כבוד בחר בסמל ה טאי-צ'י טו כסמל לחליפת ההכתרה שלו (המופיעה בצד שמאל).

חליפת ההכתרה של נילס בוהר. מעל סמל ה טאי צ'י טו כתוב בלטינית: "הניגודים משלימים"

4.2 אוביקטיביזם?

4.21 עקרון אי הוודאות ובעיית המדידה

עד 1925 היתה תורת הקוונטים אוסף רעיונות שהיו מוגבלים בחיזויים שלהם. ב- 1925-1926 אוסף הרעיונות הזה אוחד בשתי דרכים שונות אך שקולות מבחינה מתמטית. מכניקת המטריצות של הייזנברג ומכניקת הגלים של שרדינגר. אלה התיאוריות המשמשות את הפיזיקאים עד היום. התיאוריות האלה איפשרו חיזויים מפורטים, שכאמור החזיקו מעמד עד היום למרות נסיונות בלתי פוסקים להפריכם.

המשוואות של שתי תיאוריות אלה דומות מבחינה מבנית לאלה של הפיסיקה הקלאסית, אך במקום בו הופיעו תכונות (מיקום, תנע) הופיעו עתה רכיבים מתמטיים אבסטרקטיים. אצל הייזנברג היו אלה המטריצות, וכאשר הוא ניתח את תכונותיהן המתמטיות התברר שבאופן עקרוני לא ניתן לדעת במדויק גם את מיקומו של החלקיק וגם את התנע שלו.

יש שתי אפשרויות להתייחס לאי הוודאות הזאת. איינשטיין טען שהיא מהווה פגם בתיאוריה, ואילו בוהר טען כי אי הוודאות הזו כרוכה במציאות, ולפחות במציאות אותה אנו בני האדם מסוגלים להכיר. איינשטיין ניסה כמה פעמים להציע נסיונות מחשבתיים שהיו מאפשרים חיזויים מדויקים של מיקום ותנע וכך להפריך מאפיין זה של תורת הקוונטים, אך בוהר הצליח לאתר פיתרון לכל אחד מהניסויים האלה באמצעות התייחסות למערך השלם של הניסוי⁷.

מכניקת הגלים של שרדינגר נתנה כפיתרון תוצר מתמטי מוזר הנקרא פונקציית גל. תוצר זה הבליט את בעייתיות של הדואליות גל/חלקיק. מכיוון שתכונות חלקיקיות וגליות ניתנות למדידה, מתבקש היה לעשות מדידות שיבהירו סופית האם הפוטון והאלקטרון הם גל או חלקיק. במדידות שנעשו התברר **שכאשר מודדים תכונה חלקיקית האובייקט מתנהג כחלקיק, וכאשר מודדים תכונה גלית הוא מתנהג כגל!**

ניסוי הממחיש תופעה זו היטב הוא שליחת זרם אלקטרונים דרך שני סדקים. אם יוצרו שני שיאים מול הסדקים זה יעיד על חלקיקיות האלקטרונים, אם תיווצר תמונת התאבכות זה יעיד על גליות האלקטרונים. בניסויים שבוצעו התקבלו התוצאות הבאות:

* שליחת אלקטרונים אחד אחד דרך שני סדקים – התנהגות גלית

⁷ פרוט הפתרונות של בוהר ניתן למצוא במאמרו:

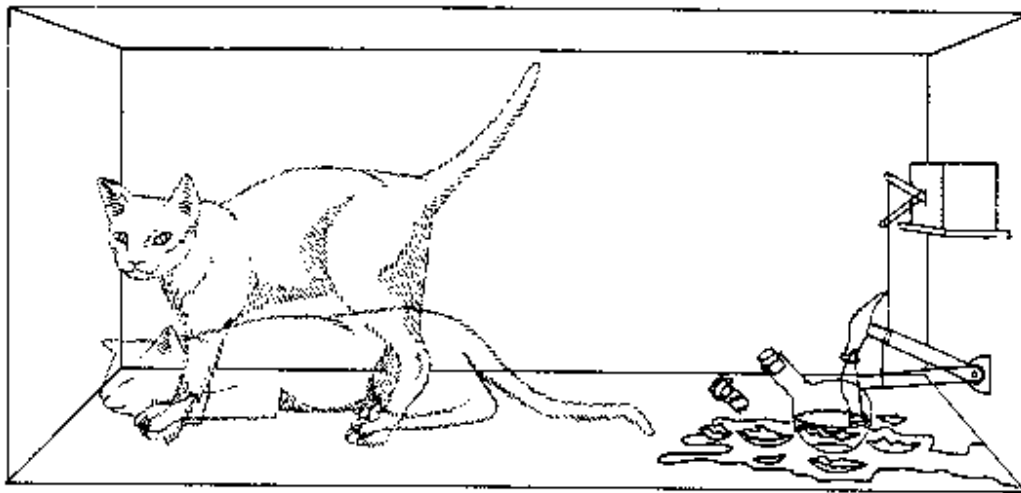
"Discussion with Einstein on Epistemological Problems in Atomic Physics" (1949)

מאמר זה מופיע ב-

J.A. Wheeler and W.H. Zurek, eds: Quantum Theory and Measurement, Princeton University Press, 1983 pp.9-52

* אטימת סדק אחד- התנהגות חלקיקית (אטימת סדק אחד מחייבת את האלקטרון להתנהג כחלקיק מכיוון שברגע המעבר דרך הסדק השני יש לו מיקום מדויק)
 * הצבת גלאי שיבדוק דרך איזה סדק עבר האלקטרון – התנהגות חלקיקית (בדומה לניסוי הקודם, הגלאי מגלה מיקום ולכן מחייב את האלקטרון להתנהג כחלקיק)
 ההסבר הקוונטי לתופעה המוזרה הזו התבסס על מושג חדש: **מצב קוונטי**. המשמעות של מצב קוונטי היא שכל עוד האובייקט לא נמדד הוא נמצא בסופרפוזיציה של מצבים שונים, כלומר הוא נמצא בו זמנית במצבים שונים. כמובן שזהו לא מצב בו אנו נתקלים, כאשר אנו מודדים מיקום של חלקיק אנו מצפים לקבל תשובה אחת ולא כמה אפשרויות סותרות הקיימות בו זמנית. ההסבר לכך שלעולם לא נמדדת סופרפוזיציה הוא שברגע המדידה יש קריסה של פונקציית הגל למצב אחד. הקשר בין המצב הקוונטי לתוצאת המדידה הוא הסתברותי, הסיכוי למדוד תוצאה מסוימת הוא בהתאם לגובה הגרף בנקודה זו.
 ההסבר הקוונטי עובד מצוין מבחינת חיזויים, אבל בעייתי ביותר מבחינה מושגית:
לפעולת המדידה יש השפעה פיסיקלית על הנמדד, כפעולת מדידה. כלומר, אין זה משנה איך נמדד, ההשפעה תהיה אותה השפעה.
המשמעות- אין מדע אובייקטיבי.

בעיתיות של מודל הקריסה הומחשה בניסוי מחשבתי המכונה "החתול של שרדינגר"⁸.



תרשים מס' 5: החתול של שרדינגר. החתול נמצא במצב קוונטי, כל עוד לא צופים בו הוא בזמנית חי ומת.

נניח מצב בו בתוך קופסא נשים את מערך ניסוי שני הסדקים, חתול ומנגנון השובר כמוסת ציאניד כאשר פוטון עובר דרך אחד מהסדקים. לפי מודל הקריסה כאשר נשלח פוטון הוא יהיה בסופרפוזיציה של שני מצבים: מעבר דרך הסדק השובר את כמוסת הציאניד ומעבר דרך הסדק השני (במובן מסוים ניתן לומר שהוא יעבור בו-זמנית דרך שני הסדקים). המצב הקוונטי הזה

⁸ שרדינגר הציג ניסוי זה במאמרו:

"the Present Situation in Quantum Mechanics" (1935)

מאמר זה מופיע ב-

J.A. Wheeler and W.H. Zurek, eds: Quantum Theory and Measurement, Princeton University Press, 1983 pp.152-168

(הפיסקה על החתול מופיעה בעמ' 157)

ישמר כל עוד הקופסא תשאר אטומה (לא התבצעה מדידה). גם כמוסת הציאניד תהיה במצב קוונטי דומה וכך גם החתול שיהיה חי ומת בו זמנית... "מרוח" בין האפשרויות.

כנגד מודל הקריסה ניתן לטעון כי המדידה משפיעה באמצעים פיסיקליים רגילים ובלי קשר לתודעה שלנו. גישה זו אמנם בעייתית מכיוון שאינה מסבירה מדוע מדידות באופנים שונים מובילות לאותה התוצאה, אך היא אפשרית ומסתמכת על כך שאין לנו מספיק אמצעים לאתר את הגורמים הפיסיקליים שגורמים לאינטראקציה בין פעולת המדידה לאובייקט הנמדד. בשנת 1982 לאחר גלגולים ונסיונות רבים בוצע על ידי הפיסיקאי הצרפתי אלן אספק ניסוי שמפריך גם גישה זו (ניסוי אספק). ניסוי זה מורכב ותיאור מפורט ומעמיק שלו חורג מנושא עבודה זו ואף אינו נחוץ לצרכיה לכן אסתפק בתיאור סכמטי⁹. ראשיתו של ניסוי זה בניסוי מחשבתי של אינשטיין, פודלסקי ורוזן (על שמם מכונה ניסוי זה EPR) שמטרתו להפריך את תורת הקוונטים על ידי הצגת אפשרות לדעת בו זמנית מיקום ותנע של חלקיק וכך להפריך את עקרון אי הוודאות¹⁰.

הניסוי המחשבתי אותו הציעו לא היה ניתן לישום והוא עבר טרנספורמציות שאיפשרו את יישומו אך שימרו את העקרון שביסודו. לאחר שגם הטכנולוגיה התקדמה מספיק יושם ניסוי זה על ידי אספק. הניסוי של אספק לא מדד מיקום ותנע אלא קורלציה של קיטוב בין פוטונים. הרעיון הכללי של הניסוי היה ליצור זוגות פוטונים עם קיטוב הפוך, לשלוח אותם לכיוונים הפוכים (בלי לדעת מה הקיטוב של כל אחד, אך תוך ידיעה שנשמרת קורלציה הפוכה ביניהם מכיוון שקיטוב היא תכונה הנשמרת). הרעיון המרכזי של ניסוי זה הוא האפשרות למדוד תכונה של אובייקט ממרחק רב כך שהמדידה לא יכולה להשפיע עליו. ניתן להשיג זאת באמצעות "החלטה" רנדומלית מהירה מספיק כך שאם תהיה השפעה היא תהיה חייבת להיות מהירה מממהירות האור, למעשה משמעות השפעה כזו היא שבירה של עקרון הלוקליות. הדרך בה ניתן לבדוק האם המדידה בכל זאת משפיעה היא שינוי במכשיר המדידה (שינוי בזוית בה הוא מוצב), ובדיקת הקורלציה בין הקיטובים של הפוטונים. הצפי המתמטי של הניסוי בהנחה של שימור עקרון הלוקליות סתר את תחזית תורת הקוונטים¹¹.

תוצאת הניסוי תאמה את תחזית תורת הקוונטים. לתוצאת ניסוי זה תיתכנה שתי משמעותות חלופיות. הראשונה: לאובייקטים הנמדדים אין תכונות משל עצמם, אלא כל תכונותיהם הם תוצר של אינטראקציה עם ההכרה שלנו. השנייה: עקרון הלוקליות הופרך. שתי המשמעותות הללו קשות לעיכול וניתן לומר שעד היום הקהילה הפיסיקלית לא התאוששה מניסויי אספק, ולא החליטה איך להתמודד עם תוצאותיהם. חלק ניכר מהקהילה הפיסיקלית עדיין רואה את תפקיד המדע כחיפוש האמת, אבל יש המציגים גישה יותר פרגמטית וצנועה כפי שמשתקף מהציטוט הבא:

"Quantum theory is concerned only with our knowledge of reality and especially of how to predict and control the behavior of this reality, at least as far as

⁹ את התיאור המקורי של הניסוי ניתן למצוא ב: A. Aspect, J. Dalibard and G. Roger: Experimental test of Bell's inequality using time-varying analysers, Physical Review Letters Vol. 49, pp.1804-1807 (1982)

¹⁰ המאמר אותו פרסמו אינשטיין, פודלסקי ורוזן: Einstein, Podolsky, Rosen: Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete? (1935)

¹¹ הצפי המתמטי הוא תוצר פיתוח מתמטי שנעשה ב-1964 ומכונה אי שיוויון בל

this may be possible. Or to put it in more philosophical terms, it may be said that quantum theory is primarily directed towards epistemology, which is the study that focuses on the question of how we obtain our knowledge (and possibly on what we can do with it). It follows from this that quantum mechanics can say little or nothing about reality itself.”

D. Bohm¹² and B.J. Hiley

"The Undivided Universe: An ontological interpretation of quantum theory"

4.22 מזרח – סוביקטיביזם

מעורבות ההכרה האנושית במציאות היא אחד מהיסודות המרכזיים במחשבת המזרח. בבסיס הפילוסופיה הבודהיסטית קיימת ההנחה שהמציאות היא תוצר אשליתי של ההכרה האנושית, ואשליה זו היא מקור הסבל. שחרור משמעו ההכרה באשליה זו ובאמצעים מסטיים הכרת העולם כפי שהוא באמת ללא המבנה שאותו משתיתה ההכרה האנושית.¹³ הפילוסוף הבודהיסטי נגארגיונה מציג בספרו "מולה מדהיאמיקה קאריקה" את תיאורית שתי האמיתות: האמת היחסית והאמת המוחלטת. האמת היחסית היא תוצר ההכרה האנושית, היא אמת מכיוון שעבורנו היא תמיד תהיה נכונה והיא רק יחסית מכיוון שהיא תוצר ההכרה האנושית. לעומתה האמת המוחלטת אינה נגישה לנו ואף לא ניתן לתאר אותה במילים מכיוון שהיא חורגת משפה והיא האמת הבלתי תלויה בהכרה האנושית. כיוון שאנו מכירים רק את האמת היחסית אנו נוטים ליחס מוחלטות לדברים שמקורם בהכרתנו ולכן הם למעשה יחסיים. לטענתו של נגארגיונה כל השיפוט הערכיים הם תוצר ההכרה האנושית.

4.23 הקבלה בין בעית המדידה בתורת הקוונטים לסוביקטיביזם במחשבת המזרח

בספרו "זן ואומנות אחזקת האופנוע" ממשיך רוברט פירסיג את המפעל המדעי למיון חול, מיון לגרגרי חול קטנים וגדולים, צהובים וחומים וכו', כך נוצרות לנו ערמות חול רבות הממוינות לפי הקטגוריות שאנו בוחרים. פירסיג מציין שלתמונת ערימות החול הרבות הממוינות חובה לצרף את האדם שמיון אותם. במערב יש נטיה לנסות להמנע מכך, מתוך כוונה שהמדע יהיה כמה שיותר אובייקטיבי. כך נוצרו מצבים פרדוקסלים בתחומי מחקר רבים. דוגמא לכך היא הדילמה האנתרופולוגית. האנתרופולוגיה דהיום מתחבטת בין שתי גישות: הראשונה לשפוט תרבויות ממרחק וללא מעורבות בהן ובכך לשמור על אובייקטיביות אך לוותר על היכרות מעמיקה עם התרבות והשניה להטמע בתרבות ואז להכיר אותה לעומקה אך לוותר על האובייקטיביות. תוצר הכלאיים המוזר שנוצר הוא הטמעות בחברה ודווח עליה ללא שיפוטיות – מה שמוציא מעבודת האנתרופולוג את הטעם המדעי (מה הטעם במדע ללא שיפוט?) ולמעשה אינו אפשרי (בכל דיווח אפילו הלקוני ביותר יש שיפוט – הבחירות מה לדווח, על מה לצפות, התרגום של מושגים

¹² דייוויד בוהם היה פיסיקאי שנודע בעקבות נסיונו לאתר "משתנים חבויים" בתורת הקוונטים ובכך לפתור את הבעיות המושגיות שלה

¹³ Sharma, A.: Our Religions, Harper San-Francisco, 1995, pp.117-123

ומנהגים מקומיים וכו' כולם נגועים בשיפוט). נדמה כי נסיונות המערב שלא להיות מעורב במה שהוא חוקר הגיעו לנקודת משבר. הרצון להגיע אל האמת המוחלטת עדיין קיים, אבל כפי שניכר מהציטוט של דיוד בזהם לעיל מתחילה להיווצר הכרה בחוסר היכולת להשיג אובייקטיביות מוחלט.

המדען המערבי התרגל להביט "החוצה" אל האובייקטים אותם הוא חוקר, עתה עליו להביט גם פנימה אל תוך נבכי ההכרה האנושית, לצורך זה הוא יכול להעזר במסורת אינטלקטואלית העוסקת בכך אלפי שנים, היא המסורת הבודהיסטית.

4.3 זהות:

4.31 בעית הזהות

בתורת הקוונטים התגלו חלקיקים הקרויים *מזוונים* בעלי תכונה מוזרה – אין להם זהות עצמית. בפיסיקה הקלאסית היו קיימים עצמים זהים (אטומים למשל) אך לכל אחד מהם היתה זהות עצמית, אציג דוגמא על מנת להמחיש את המשמעות של זהות עצמית. נניח זוג חברים, אודי ובת-שבע הגרים בדירת שני חדרים. יש ארבעה מצבים אפשריים:

1. אודי בחדר הימני ובת-שבע בחדר השמאלי
2. בת-שבע בחדר הימני ואודי בחדר השמאלי
3. שניהם בחדר הימני
4. שניהם בחדר השמאלי

עקרון בסיסי של המכניקה הסטטיסטית קובע שהסיכוי שמערכת תהיה במצב מסוים יחסי למספר הסידורים האפשריים של מרכיבי המערכת שמהם ניתן להשיג את המצב המסוים. מכאן ניתן להסיק שיש סיכוי של רבע לכל אחד מהמצבים וחשוב פשוט מראה שיש סיכוי של חצי שאודי ובת-שבע נמצאים בחדרים שונים. עתה נסיר מבני הזוג את הזהות העצמית שלהם ונגלה שיש רק שלושה מצבים אפשריים:

1. הזוג נמצא בחדר הימני
2. הזוג נמצא בחדר השמאלי
3. הזוג נמצא בחדרים שונים

עכשיו הסיכוי שהזוג ימצא בחדרים שונים הוא שליש. גישה זו נראית מופרכת מכיון שהיא נוגדת אינטואיציה בסיסית שלנו שלכל דבר יש זהות עצמית, כך מצב מספר 3 נראה כמיצג למעשה שני מצבים שונים. למרבה הפלא *מזוונים* מתנהגים כאילו אין להם זהות עצמית, כלומר החלפה בין שני בוזונים אינה יוצרת מצב חדש והפיסיקה הנסיונית מאששת זאת. זהות עצמית היא תכונה בסיסית במדע ובמחשבת המערב ככלל. כבר אריסטו הציג את העולם כמורכב מעצמים שכל אחד מהם שומר על זהותו הקבועה.

4.32 בודהיזם – אנאטמן

מושג בסיסי בפילוסופיה הבודהיסטית הוא ה *אנ-אטמן* שמשמעו אין-אני. הפילוסופיה הבודהיסטית מציגה את הזהות העצמית שאנו נותנים לעצמים ובפרט לעצמנו כאשליה. ניקח כדוגמא שעון שקניתי בהודו – הרצועה שלו לא מצאה חן בעיני ולכן החלפתי אותה ברצועת עור, אחרי כמה ימים הוא הפסיק לעבוד והחלפתי את המנגנון שלו, ולאחר כמה זמן הוא נסדק וגם גוף

השעון הוחלף. שום פריט מן השעון המקורי לא נותר, האם זה עדיין "השעון שלי מהודו"? ואם לא, מתי הוא החליף זהות? כך גם לגבי הזהות האישית האנושית. לפי הפילוסופיה הבודהיסטית אישיות האדם היא שרשרת סיבתית של ארועים שבמהלכה נוצרת אשליה של קיום "אני" קבוע. למעשה כל עצם המציאות קיים רק בהבזק ומיד נכחד והרציפות אותה אנו חווים דומה לרציפות האשלייתית שמספק סרט קולנוע שלמעשה מורכב מרצף מהיר של תמונות סטטיות.

4.33 הקבלה בין בעית הזהות בתורת הקוונטים למושג האנ-אטמן בבודהיזם

עקרון הזהות האישית מוטמע כה עמוק בתרבות המערבית שקשה להבחין בו. הבסיס לכל מחקר מדעי הוא הנחה שאנו חוקרים אובייקט מסוים. כאשר אני משליך כדור מצד אחד של החדר לצד השני, האינטואיציה שלי תהיה שאותו כדור שהשלכתי, הוא זה שהגיע לצד השני. תיאור אלטרנטיבי לתופעה יכול להיות שכדור אחד נעלם במקום הזריקה ושורה ארוכה של כדורים הופיעו ונעלמו בזה אחר זה בסמיכות מקום וזמן עד שבקצה השני של החדר הופיע כדור, אך תיאור זה כל כך נוגד את האינטואיציה שלנו שגם די מסורבל לתאר אותו בשפת אנוש¹⁴. גם במזרח עקרון הזהות האישית מוטמע (ומכאן ניתן אולי להסיק שעקרון זה מוטמע בהכרח האנושית ואיננו תוצר של תרבות מסוימת), ומושג ה אנאטמן הוא חריג, וקשה מאוד להפנמה – לפי הפילוסופיה הבודהיסטית הפנמתו מובילה להארה. מושג ה אנאטמן יכול להוות השראה כפילוסופיה המוותרת על זהות עצמית כנגד האינטואיציות האנושיות.

4.4 שפה:

4.41 שימוש במושגים קלאסיים

המהפיכה המדעית של תחילת המאה ה-20 לא היתה כזו שהפריכה לחלוטין תיאוריה אחת והציבה אחרות במקומה. התיאוריות החדשות שהופיעו מתבססות על התיאוריות הקודמות של הפיסיקה הקלאסית. למעשה, אחת מהנחות היסוד של הפיסיקה המודרנית קרויה עקרון ההתאמה ומשמעותה שעל התיאוריות החדשות לתת תוצאות זהות לפיסיקה הקלאסית ב תחום הקלאסי (כלומר לא במהירויות הקרובות למהירות האור או במימדים הקטנים ממימדי אטום). כפי שציינתי בהקדמה תורת הקוונטים אף משתמשת במושגים הלקוחים מהפיסיקה הקלאסית כמו גל וחלקיק. שימוש זה הכרחי מכיוון שמושגים אלה מהווים את השפה המשותפת בה משתמשת הקהילה הפיסיקלית, אך יש בו בעייתיות מכיוון שתורת הקוונטים משתמשת במושגים אלה באופן הסותר את הגדרתם. כך למשל תורת הקוונטים מתייחסת לאובייקטים כאל גל וחלקיק בו זמנית בעוד שהגדרות הגל והחלקיק מוציאות האחת את השניה בתפיסת הפיסיקה הקלאסית.

4.42 ההתייחסות לשפה במחשבת המזרח

¹⁴ תיאורים כאלה יכולים להשמע יותר אינטואיטיביים לאחר הכרות עם תופעות קוונטיות כמו מנהור ו"קפיצות" של אטומים בין מסלולים בלי לעבור בתווך ביניהם.

במחשבת המזרח העיסוק בחשיבות הפילוסופית של הלשון והשפה הקדים בהרבה את פילוסופית הלשון המערבית. הרעיון השזור בכמעט כל הפילוסופיות המזרחיות, הוא הכרה בשפה ככלי בלבד חסר משמעות בפני עצמו.

להבדיל מסוקרטס שהקפיד על דיוקן של הגדרות וראה בהפרכתן כשלון של המגדיר, הפילוסוף הבודהיסטי נגארג'ונה הציג סתירות פנימיות במושגים על מנת להמחיש את מוגבלות השפה. ההכרה במגבלת השפה הובילה לנסיונות א-אינטלקטואליים להגיע לאמת – בשיטות מיסטיות שונות אשר המפורסמת מביניהן היא המדיטציה.

בזן בודהיזם היפני יש שימוש בדיאלוגים תמציתיים המכונים *קואנים* אלה לא אמורים להוביל אל האמת באמצעות הגיון צרוף אלא באמצעות המחשה ועל ידי מתן השראה.

אחד מן הציטוטים היפים במחשבת המזרח בנושא זה הוא של הפילוסוף הדאואיסטי צ'ואנג טסה:

"המכמורת קיימת עבור הדג. משתפסת את הדג, אתה יכול לשכוח את המכמורת. המלכודת קיימת עבור הארנבת, משתפסת את הארנבת, אתה יכול לשכוח את המלכודת. מילים קיימות עבור המשמעות, משתפסת את המשמעות, אתה יכול לשכוח את המילים. מי יתנני אדם ששכח את המילים, כדי שאוכל להחליף עמו מילה."

צ'ואנג טסה "קולות האדמה" קטע מס' 60

4.43 הקבלה בין שימוש במושגים קלאסיים בתורת הקוונטים וההתייחסות לשפה במחשבת

המזרח

דומה שבעוד שהמערב התעקש מאז סוקרטס להגיע לאמת באמצעות חידוד הגדרות, במזרח ראו בכך נסיון תפל מלכתחילה. בעוד במערב ראו בשפה ובמושגים משהו חיצוני לאדם ובעלי קיום עצמי (למשל האידאות של אפלטון), במזרח ראו את אותם מושגים ואותה שפה כחלק מההכרה האנושית. תורת הקוונטים הביאה את המערב לנקודת הכרעה שהשתקפה בויכוח הגדול בין אינשטיין לנילס בוהר – האם עלינו להמשיך להתעקש על מושגים מדויקים וקוהרנטים או להכיר במגבלות המערכת המושגית שלנו?

לגבי השימוש במושגים בעיתיים, הפיסיקאי המודרני יכול לקבל השראה ממשל בודהיסטי אודות חציית נהר ברפסודה. משהגעת לגדה השניה, כך מסביר הבודהא, אין לך צורך יותר ברפסודה. באותו אופן, הבודהא משתמש במילים על מנת להסביר את תורתו למרות שחלק מתורתו היא הפרכת המשמעות המוחלטת שלהן. הפיסיקאי יכול בהשראת המשל להשתמש במושגים מן הפיסיקה הקלאסית, למרות הסתירות שהם מציגים במסגרת התורה החדשה.

פרק 5 : מבט ביקורתי על ההקבלות

לאחר סקירת ההקבלות בין תורת הקוונטים לפילוסופיות מזרחיות עולה השאלה : איך להתייחס להקבלות אלו? לפני שאדון באפשרויות להתייחסות להקבלות, אציג את הרקע להיווצרותן.

בנוסף לקווי הדמיון בין תורת הקוונטים למחשבת המזרח יש לציין גורם חשוב נוסף להיווצרות ההקבלות והוא הדימוי החיובי של תרבויות המזרח בעינים המערביות במאה העשרים. סוף המאה התשע עשרה ותחילת המאה העשרים ראו את צמיחתן של מספר תיאוריות ששינו סדרי עולם עבור האדם במערב. ביניהן, תורת מוצא המינים של דארווין, הפסיכואנליזה של פרויד, הפילוסופיה של ניטשה, תורת היחסות של איינשטיין ותורת הקוונטים. השקפת העולם המערבית היציבה והמובנית, בעלת האבחנות ברורות (כזכור, היתה הרגשה שהפרייקט המדעי נמצא לקראת סופו), עברה זעזוע קשה. מלחמות העולם וסיום התקופה האימפריאליסטית הובילו למשבר המודרני ואחריו למשבר הפוסט מודרני שהשתקפו בעיקר באובדן אבחנות וסדרי עולם קבועים. מושגים מסורתיים כמו התא המשפחתי, הזהות המינית, השתייכות חברתית וכו' התרוקנו מתוכנם. משברים אלו גרמו לנסיונות לחפש פתרונות במקומות אחרים (גם אם לעיתים היה צריך להמציא "פתרונות" כאלה במקומות האחרים) ובעיקר במזרח.

מאז תחילת המאה היו אינספור הקבלות בין פילוסופיות מערביות למזרחיות. הפילוסוף הבודהיסטי נגארגיונה, למשל, פורש כקאנטיאני בתחילת המאה ¹⁵, כהגליאני בשנות החמישים וכפוסט מודרניסט בשנות השישים. חשוב לציין שבעוד שבתחילת המאה העשרים ההקבלות השונות ניזונו מידע מועט, שטחי ולא מדויק כעת עומדים לרשות החוקרים בתחום אינספור תרגומים ועשרות שנות מחקר בתחום.

כאמור נקודת השיא בהקבלות בין פיסיקה מודרנית למחשבת המזרח היתה ספרו של פרטיוף קאפרה "הטאו של הפיסיקה". את התגובות לספר זה ולהקבלות ככלל ניתן לחלק לשני קטבים : תומכים המחפשים להרחיב את מעגל ההקבלות ומבקרים המתייחסים להקבלות בזלזול. התומכים בהקבלות ראו בספרו של קאפרה רק התחלה של מפעל גדול של לימוד מהמזרח, וישום תורותיו העתיקות והחכמות על כל תחומי החיים במערב. קאפרה בעצמו הקים מכון שנועד לתמוך ברעיונות אקולוגיים וביישומם בהסתמך על רעיונות פילוסופיים מזרחיים.

מנגד, המבקרים טענו לאי דיוקים רבים ושטחיות בהקבלות. בין השאר, נטען כי המזרח מכיל ערב רב של פילוסופיות שנוצרו בתקופות שונות, במקומות שונים וביניהן גם הבדלים משמעותיים. התייחסות כוללנית אל "תורת חכמי המזרח" כאל ישות פילוסופית אחת היא סלקטיבית וחוטאת לאמת. בנוסף טענו המבקרים שהקבלה בין נושאים כה שונים ותרבויות כה מרוחקות בזמן ובמרחב היא מעושה ואינה רלוונטית.

אינני מתכוון לבחון את עמדותיהם של התומכים והמבקרים לגבי ההקבלות בין מחשבת המזרח לתורת הקוונטים בפרוט. מטרתי היא לערוך בחינה של ההקבלות באספקלריה של האינטרסים העומדים בבסיסן. ישנם שלושה אינטרסים בסיסיים לבצוע הקבלות בין תחומים שונים ומרוחקים בזמן ובמרחב : 1. ביסוס/חיזוק עמדה 2. הנהרה/המחשה 3. השראה.

¹⁵ Stcherbatskey, Th.: Buddhist Logic, Hague, Mouton, 1959

Murti, T.R.V.: The Central Philosophy of Buddhism, London, Allen and Unwin, 1955

הרעיון הבסיסי ב *חיזוק עמדה* באמצעות הקבלה הוא שאם אנשים מתחומים שונים ומרוחקים הגיעו למסקנות דומות סביר יותר להניח שיש בהן גרעין של אמת. בנוסף אם עמדה אחת נחשבת מבוססת אז הקבלה אליה בוודאי יכולה להועיל. כך למשל, נפוצות הקבלות בין פיסיקה מודרנית לתורת הקבלה היהודית שמטרתן לשכנע אנשים באמינות תורת הקבלה. אחת מהדרכים הטובות ביותר ל *הנהיר* תיאוריה היא המחשה הלקוחה מנושא אחר. כדוגמא ניתן לקחת את משל הרפסודה הבודהיסטי שיכול להנהיר את השימוש במושגים קלאסיים בתורת הקוונטים (מתייחסים אליהם ככלי בלבד).

תיאוריה אחת יכולה להוות *השראה* לתיאוריה אחרת רק אם יש ביניהן דמיון בסיסי ראשוני. כשתיאוריה אחת מגיעה לנקודה חדשה מבחינתה, אך שנבחנה לעומק בתיאוריה אחרת, התיאוריה האחרת יכולה להוות עבורה השראה. בעיית הזהות בתורת הקוונטים היא מפתיעה וחריגה ועל מנת להתמודד איתה ניתן להעזר בדיון האינטלקטואלי הבודהיסטי שנמשך אלפי שנים במושג האנ-אטמן.

לאור שלושת האינטרסים שהצגתי ניתן לדון בגישות השונות להקבלות בין תורת הקוונטים למחשבת המזרח. לגבי ביסוס/חיזוק ניתן לומר שלאור העובדה שלמדע יש מעמד מבוסס הרבה יותר, החיזוק (אם קיים כזה) הוא של מחשבת המזרח. כלומר אין ספק שהקבלה בין תורת הקוונטים לפילוסופיות מזרחיות לא באה לחזק את מעמדה של תורת הקוונטים, אבל כן יכולה להיות כלי לחיזוק מעמדן של הפילוסופיות המזרחיות. אך לדעתי לאור המגוון הגדול שקיים בפילוסופיות המזרחיות שמאפשרת מציאת הקבלות כמעט לכל תחום, גישה זו אינה ראויה ובנקודה זו הביקורת על שטחיות ההקבלות מוצדקת.

לאור הקושי הגדול להבין את משמעות תורת הקוונטים והבעיות המושגיות בה, דומה שהנהרה שלה באמצעות מחשבת המזרח מוצדקת. זו למעשה הסיבה העיקרית לעניין שמצאו פיסיקאים בפילוסופיות מזרחיות. החיפוש אחר מערכת מושגית אלטרנטיבית שתאפשר פרשנות מתקבלת על הדעת של תורת הקוונטים הוביל למזרח.

סיבה נוספת לעניין שמצאו פיסיקאים במחשבת המזרח היא חיפוש השראה. ולדעתי גם פה ההקבלות מוצדקות וזאת בשל הנסיון האינטלקטואלי הרב במזרח בעיסוק בבעיות מושגיות אותן יצרה תורת הקוונטים. כזכור, התומכים באסכולת קופנהגן סברו שהבעיות המושגיות בתורת הקוונטים הם תוצר המערכת המושגית ולכן יש לתקנה. במזרח ישנה מערכת מושגית חלופית ולכן מתבקש להעזר בה. להערכתי יש עוד מקום לנטילת השראה נוספת מן המזרח על מנת לקדם את פרשנות תורת הקוונטים, למשל בבעיית הזהות שעדיין לא זכתה לפרשנות מעמיקה.

באופן כללי ניתן לומר שבין שני הקטבים של תמיכה וביקורת על ההקבלות יש מרחב רב שבו ניתן למצוא הצדקה לשימוש בהקבלות לצרכי הנהרה והשראה. במרחב זה התמקמו נילס בוהר, שרדינגר, הייזנברג ופאולי. כך למשל בציטוט הבא של שרדינגר שמתייחס ללגיטימיות שבטיעונים אנלוגיים הנפוצים במחשבת המזרח, ניתן לראות קבלת השראה לשיטות אלטרנטיביות לידע:

"Vedantic philosophy [an ancient school of Indian philosophy] ...has sought to clarify it by a number of analogies...we intellectuals of today are not accustomed to admit a pictorial analogy as a philosophical insight; we insist on logical deduction...to

grasp the basis of phenomena through logical thought may in all probability be impossible..."

Schrodinger, E.: "My View of the World" pp.18-19

במהלך העבודה הוצגו הקבלות בארבעה מישורים. הקבלות רבות בין תורת הקוונטים לפילוסופיות מזרחיות עלולות ליצור את הרושם ש"חכמי המזרח הכירו את תורת הקוונטים", ולכן חשוב להבהיר את הריבוי שבהקבלות. הריבוי בהקבלות הוא למעשה אשליה¹⁶. למעשה ארבעת המישורים השונים נושקים זה לזה ואף חופפים אחד לאחר לא מעט. דיון במשותף בין דואליות, אוביקטיביזם, זהות ושפה חורג מעבודה זו, אך באופן כללי התשתית של הגישות המזרחיות לנושאים אלה דומה: במרכז נמצא האדם וההכרה והשפה היא תוצר של ההכרה ולכן אינה מתארת מציאות "כפי שהיא באמת" אלא במידה רבה מכוננת את המציאות.

¹⁶ באופן מקרי זהו טיעון אותו מציג שרדינגר בספר ממנו לקוח הציטוט הקודם,

פרק 6 : סיכום

תורת הקוונטים שהתהוותה בתחילת המאה העשרים עוררה בעיות מושגיות קשות. לבעיות אלה היו שתי תגובות: היו שטענו, כאינשטיין, שהבעיות המושגיות מעידות על כשלים בתורת הקוונטים ולעומתם היו אחרים, כמו נילס בוהר ואסכולת קופנהגן שטענו שהבעיה היא במערכת המושגית שמהווה את התשתית למדע המערבי.

במהלך העבודה הצגתי הקבלות בין תורת הקוונטים לפילוסופיות מזרחיות בארבעה מישורים: דואליות, אוביקטיביזם, זהות ושפה. כפי שצינתי ההקבלות הן תוצר של קשיים פילוסופיים בפרשנות של תורת הקוונטים. כך, בעוד הדואליות היא בעייתית עבור אופן החשיבה המערבי, במזרח אחדות הניגודים היא טבעית. תורת הקוונטים מונעת את קיומו של תנאי בסיסי במדע המערבי והוא האיסור להיות מעורב באוביקט הנמדד. במזרח, המעורבות האנושית היא המעניינת ולמעשה היחידה אותה ניתן לבחון באופן ישיר. ניתן להעזר בנסיונות הבודהיסטים להכחיש זהות עצמית על מנת לנסות להבין את התופעות המוזרות של הבוזונים. כך גם לגבי פילוסופית הלשון במזרח שנתנה לשפה תפקיד מרכזי (עד כדי "השפה מכוננת את המציאות") ומיוחד שיכולה לתת השראה לבעיות המושגיות שנתגלו בתורת הקוונטים.

ההקבלות בין תורת הקוונטים למחשבת המזרח צמחו במאה העשרים בה היתה אורה של כמיהה למציאת פתרונות במזרח. להקבלות קמו שתי תגובות מנוגדות. מחד, תמיכה ורצון להרחיב את מעגלן על תחומי חיים נוספים, ומאידך ביקורת וזלזול מתוך ראיתן כשטחיות ולא רציניות. ישנם שלושה אינטרסים בסיסיים לבצוע הקבלות: חיזוק/ביסוס עמדה, הנהרה והשראה. באמצעות שימוש בשלושת האינטרסים האלה כמדד ללגיטימיות להקבלות הצעתי דרך ביניים בין שתי התגובות המנוגדות להקבלות: דגש על הנהרה והשראה. באופן כללי ניתן לומר שזו היתה הגישה של הפיסיקאים שהתענינו בפילוסופיות מזרחיות. לבסוף ציינתי שבין ארבעת התחומים בהם עשיתי הקבלות יש קשרים של דמיון וחפיפה. לארבעת התחומים האלה יש בסיס משותף שחקירה מעמיקה שלו דורשת לדעתי משאבים רבים של ידע התעמקות.

כאנקדוטת סיכום נראה לי ראוי להביא זווית נוספת בה ניתן לקדם מחקר בתחום ההקבלות בין תורת הקוונטים למחשבת המזרח. לאור הקשיים המושגיים בהם נתקלו הפיסיקאים במערב, והטענה שהקושי טמון במערכת המושגים המערבית עולה השאלה איך מתמודדים פיסיקאים מזרחיים עם תורת הקוונטים. הנה, אפוא, עדות אחת של הפיסיקאי המערבי רוזנפלד על הפיסיקאי היפני יוקאוה:

"[In 1961] I had occasion to discuss Bohr's ideas with the great Japanese physicist [Yukawa], whose conception of the meson with its complementary aspects of elementary particle and field of nuclear force is one of the most striking illustrations of the fruitfulness of the new way of looking at things that we owe to Neils Bohr. I asked Yukawa whether the Japanese physicists had the same difficulty as their Western colleagues in assimilating the idea of complementarity ... He answered `No, Bohr's argumentation has always appeared quite evident to us; ... you see, we in Japan have not been corrupted by Aristotle."

Rosenfeld, Physics Today 16, (Oct 1963), p. 47

ביבליוגרפיה :

1. קאפרה, פרטיוף : הטאו של הפיסיקה, תירגום לעברית ע"י מיכה אנקורי, הוצאת רמות אוניברסיטת ת"א, 1996
- תורת הקוונטים :
2. אונא, יששכר : תורת הקוונטים, משרד הביטחון - ההוצאה לאור, 1993
3. בן-דב, יואב : תורת הקוונטים מציאות ומסתורין, דביר הוצאה לאור, 1997
4. A. Aspect, J. Dalibard and G. Roger: Experimental test of Bell's inequality using time-varying analysers, Physical Review Letters Vol. 49, pp.1804-1807 (1982)
5. D. Bohm and B.J. Hiley: The Undivided Universe: An ontological interpretation of quantum theory, Routledge, London, 1993
6. Einstein Albert: the Human Side, Princeton University Press, 1989
7. W. Heisenberg: Physics and Philosophy, Allen & Unwin, London 1963
8. Schrodinger, E.: my view of the world, Cambridge University Press, 1964
9. J.A. Wheeler and W.H. Zurek, eds: Quantum Theory and Measurement, Princeton University Press, 1983
10. <http://www.sciencejoywagon.com>
11. <http://www.uwinnipeg.ca>
- פילוסופיות מזרחיות :
12. לאו דזה : ספר הדרך והסגולה, תרגום מסינית דן דאור ויואב אריאל, מפעלים אוניברסיטאים להוצאה לאור, 1981
13. ציואנג טסה : קולות האדמה, תרגום מסינית ע"י יואל הופמן, מסדה, 1977
14. Murti, T.R.V.: The Central Philosophy of Buddhism, London, Allen and Unwin, 1955
15. Pirsig, M. Robert: Zen and the Art of Motorcycle Maintenance, Bantam Books, New York, 1981
16. Scharfstein, Ben-Ami: A Comparative History of World Philosophy, State University of New York Press, Albany, 1998
17. Sharma, A.: Our Religions, Harper San-Francisco, 1995
18. Stcherbatskey, Th.: Buddhist Logic, Hague, Mouton, 1959