ב"ה

הסתברות ובחירה בנפש

עיון קוגניטיבי-קוונטי בתודעה ובקבלת החלטות

מאת:

הרב יצחק שפירא

גלעד הרמן

ישיבת "עוד יוסף חי"

גרסה: 1.0

תאריך: כ"ח איר תשפ"ה

יצירת קשר: [gilad419@gmail.com]

מסמך זה הוא חלק מסדרת מחקרים בנושא הסתברות, תודעה ודינמיקות נפשיות.

חלק א'

פרק א' - ניסוי טברסקי ושפיר

הקדמה כללית

במאמר שלפנינו ננסה לתרץ מספר קושיות וסתירות התנהגותיות בקבלת החלטות אצל בני אדם, על ידי הבנה מעמיקה של הנפש. נעשה שימוש במושגים ומשלים מהפיזיקה כדי להמחיש את הדינמיקה הפנימית בנפש האדם וננסה להעניק תאור מתמטי לתהליכי קבלת החלטות.

נעזר ברעיון שהתחיל להתפתח בעשורים האחרונים, המכונה 'קוגניציה קוונטית'. הקוגניציה הקוונטית מנסה להעניק תאור מתמטי להתנהגויות אנושיות באמצעות ניתוח ממצאים של ניסויים התנהגותיים והתאמתם למשוואות ההסתברות הקוונטית[1]. הקוגניציה הקוונטית, טוענת כי כללי ההסתברות הרגילים אינם מספיקים כדי לתאר הכרעות אנושיות במצבים מסוימים. מחקרים סטטיסטיים מראים כי במצבים מסוימים בני אדם מתנהגים באופן 'לא-רציונלי' ביחס ללוגיקה של כללי ההסתברות הרגילים, אך ניתן להסביר התנהגויות וממצאים סטטיסטיים אלו לאור משוואות ההסתברות הקוונטית. מכאן רוצים חוקרים להסיק כי בני אדם אינם יצורים לוגים במובן הקלאסי, אלא בעלי חשיבה 'קוונטית' או בעלי 'לוגיקה קוונטית'.

נעיר כי המחקרים בתחום הקוגניציה הקוונטית עושים בעיקר שימוש מתמטי במשוואות הקוונטיות אך אינם מנסים להסביר באופן מהותי את הדמיון בין המשל הפיזיקלי לנמשל הפסיכולוגי והסוציולוגי. במאמר זה ננסה להסביר את הקשר בין המשל לנמשל ועל בסיס זה להציע הכללה מתמטית שתכלול את הלוגיקה הקלאסית כמו גם את הלוגיקה הקוונטית וכך תוכל להסביר מקרים נפשיים שההסתברות הרגילה לא מצליחה להסביר.

אנו מקווים כי המאמר שלפנינו מהווה פתיחה למהלך מחקרי רחב יותר. אף על פי שהדיון מתמקד כאן בסוגיה מסוימת – דהיינו קבלת החלטות – מטרתנו היא להניח את התשתית

[1] ההסתברות הקוונטית מבוססת על הפרשנות המקובלת בפיזיקה הקוונטית לפיה ניתן לתאר באופן הסתברותי התנהגות של חלקיקים באמצעות משוואות הגל שלהם. הצורך בפרשנות זו התעורר כאשר נחשף האופי הדואלי של האור, המתנהג לעתים כגל ולעתים כחלקיק, אך הורחב גם לשאר סוגי החלקיקים לאחר שהתופעה הוכללה לכלל העולם האטומי.

למערכת רעיונית מקיפה שתתאר את הדינמיקה הנפשית לאור מבנה הנפש שמתגלה בניתוח זה. מבנה זה, הנשען על הבחנה בין לוגיקה קלאסית ללוגיקה קוונטית, עתיד לשמש בסיס לדיונים נוספים בסוגיות מגוונות הקשורות לדינמיקה של הנפש, ובפרט למצבים נפשיים מורכבים ולתגובות התנהגותיות שאינן ניתנות להסבר במסגרת לוגיקה רציונלית-קלאסית בלבד. בסוף המאמר הנוכחי אנו מציעים טעימה ראשונית של ניתוח מקרים טיפוליים שונים. במאמרים הבאים אנו מקווים להקדיש מקום להרחבת היריעה ולעיון מעמיק בסוגיות פסיכולוגיות נוספות ובמקרים טיפוליים מגוונים, תוך יישום הגישה התיאורטית שנבנתה כאן על מצבים נפשיים מורכבים שונים.

כשל לוגי - אפקט הדיסיונקציה

במאמר זה נבחן תופעה פסיכולוגית המכונה 'אפקט הדיסיונקציה' (Disjunction Effect), ונלמד ממנה על טבעם של החלקים הלא-מודעים בנפש. אפקט הדיסיונקציה מתאר כשל לוגי שבו אנשים נמנעים מקבלת החלטה כאשר חסר להם מידע, אף על פי שהמידע הזה אינו משנה את מהות הבחירה. במילים אחרות, גם כאשר האדם היה מקבל את אותה החלטה בכל אחד מהתרחישים האפשריים, עצם חוסר הוודאות מונע ממנו לפעול. לדוגמה: אדם שוקל להזמין חופשה. אם יתקבל לעבודה – הוא ירצה לחגוג, ואם לא יתקבל – ירצה לנוח ולהתאוורר. בשני המקרים הוא מתכנן לצאת לחופשה. אך כל עוד הוא אינו יודע אם התקבל או לא, הוא בוחר להמתין עם ההזמנה. זהו אפקט הדיסיונקציה – מצב שבו הידיעה נתפסת כתנאי לפעולה, גם כאשר אין לה השפעה מהותית על עצם ההחלטה. אפקט הדיסיונקציה זוהה לראשונה על ידי הפסיכולוגים עמוס טברסקי ואלדר שפיר במחקרם משנת 1992.

ניסוי ההגרלות

בניסוי שערכו טברסקי ושפיר בשנת 1992, הם בחנו כיצד אי-ודאות משפיעה על קבלת החלטות. בניסוי, המשתתפים התבקשו לדמיין שהם ניגשים להגרלה עם סיכוי של 50%

לזכות ב-$200 וסיכוי של 50% להפסיד $100. לאחר ההגרלה, הם התבקשו להחליט אם להשתתף בהגרלה נוספת עם אותם תנאים.

המשתתפים חולקו לשלוש קבוצות:

1. **קבוצת הזכייה**: המשתתפים ידעו שזכו בהגרלה הראשונה.
2. **קבוצת ההפסד**: המשתתפים ידעו שהפסידו בהגרלה הראשונה.
3. **קבוצת אי-הוודאות**: המשתתפים לא ידעו את תוצאות ההגרלה הראשונה.

תוצאות הניסוי:

- בקבוצת הזכייה, רוב המשתתפים (69%) בחרו להשתתף בהגרלה השנייה, מתוך מחשבה שהרווחים הקודמים מאפשרים להם לקחת סיכון נוסף.
- בקבוצת ההפסד, גם כן, רוב המשתתפים (59%) בחרו להשתתף בהגרלה השנייה, בניסיון לפצות על ההפסד הקודם.
- בקבוצת אי-הוודאות, מיעוט מהמשתתפים (36%) בחרו להשתתף בהגרלה השנייה, ואילו הרוב בחרו שלא להשתתף בהגרלה השנייה, בשל חוסר הוודאות לגבי תוצאות ההגרלה הראשונה.

ממצאים אלו הדגימו את הכשל הלוגי, שבו אנשים מקבלים החלטות שונות במצב של אי-ודאות, אף על פי שההחלטה הרציונלית הייתה אמורה להיות זהה בכל המצבים. הניסוי הראה כיצד אי-ודאות משפיעה על ההחלטה, גם כאשר המידע החסר אינו אמור להשפיע על ההחלטה באופן לוגי.

ניסוי כרטיסי החופשה

בניסוי נוסף של טברסקי ושפיר (Tversky & Shafir, 1992), החוקרים בחנו את השפעת אי-הוודאות על החלטות רכישה של כרטיסי חופשה.

במהלך הניסוי המשתתפים התבקשו לדמיין שהם עומדים לפני החלטה האם לרכוש כרטיס לחופשה מוזלת בהוואי, כאשר התוצאות של מבחן חשוב שהם ניגשו אליו (למשל מבחן סיום לימודים) אינן ידועות עדיין.

המשתתפים חולקו לשלוש קבוצות:

1. **קבוצת הצלחה במבחן**: המשתתפים דמיינו שהם יודעים שעברו את המבחן.
2. **קבוצת כישלון במבחן**: המשתתפים דמיינו שהם יודעים שנכשלו במבחן.
3. **קבוצת אי-ודאות**: המשתתפים דמיינו שהם לא יודעים אם עברו או נכשלו במבחן.

לכל הקבוצות הוצגו שלוש אפשרויות:

- לרכוש את כרטיס החופשה במחיר המוזל.
- לא לרכוש את הכרטיס.
- לשלם $5 (דמי רצינות) כדי לשמור לעצמם את האפשרות לרכוש את הכרטיס לאחר שיתפרסמו תוצאות המבחן.

להלן תוצאות הניסוי:

החלטה / קבוצה	הצלחה	כישלון	אי-ודאות
לקנות את החופשה	54%	57%	32%
לא לקנות את החופשה	16%	12%	7%
לקנות הארכת זמן	30%	31%	61%

- **קבוצת הצלחה:** רוב המשתתפים (54%) שידעו שעברו את המבחן נטו לקנות את כרטיס החופשה כדי לחגוג את הצלחתם.
- **קבוצת כישלון:** רוב המשתתפים (57%) שידעו שנכשלו במבחן גם כן נטו לקנות את הכרטיס, מתוך רצון להתנחם בחופשה.
- **קבוצת אי-הוודאות:** למרות שההחלטה הייתה אמורה להיות זהה (הרכישה הייתה כדאית בכל מקרה), רוב המשתתפים (61%) העדיפו לשלם $5 כדי לדחות את ההחלטה עד שידעו את תוצאות המבחן.

ממצאים אלו מדגימים את אפקט הדיסיונקציה שקיים אצל משתתפי הניסוי. ההחלטה משתנה כאשר אנשים אינם בטוחים לגבי המצב (אי-ודאות), למרות שהמידע החסר (תוצאת המבחן) לא אמור להשפיע על הערך של רכישת הכרטיס. החוקרים הסבירו את התופעה בכך

שאנשים זקוקים ל"סיבה" מוצדקת לפעולה, ואי-ודאות מקשה על מציאת סיבה כזו ולכן אנשים מוכנים לשלם כסף עבור מידע, שמבחינה לוגית, לא אמור להשפיע על החלטתם.

הסבר פסיכולוגי וקוונטי

ישנן שתי גישות כלליות המסבירות את אפקט הדיסיונקציה שמתגלה בניסוי. גישה אחת היא הגישה הפסיכולוגית הקלאסית שנוסחה בידי החוקרים טברסקי ושפיר, והוצגה בקצרה לעיל. גישה שניה מכונה הקוגניציה הקוונטית, והיא נעזרת במודלים מתמטיים ממכניקת הקוונטים כדי לתאר ולהסביר את התוצאות הסטטיסטיות של תופעות פסיכולוגיות כגון אלו. ההבדל בין ההסבר הקלאסי הפסיכולוגי של טברסקי להסבר של הקוגניציה הקוונטית טמון בגישות השונות להבנת תהליכי קבלת ההחלטות ובמודלים הלוגיים שהם מציעים. כדי להבין את ההבדל בין שתי הגישות נרחיב לגבי כל אחת מהן.

ההסבר הפסיכולוגי של טברסקי ושפיר

טברסקי ושפיר (1992) הסבירו את אפקט הדיסיונקציה באמצעות רעיון של **בחירה מבוססת-סיבות (Reason-Based Choice)**:

- **מיקוד ההסבר:** בני אדם מחפשים סיבה מוצדקת לפעול, במיוחד במצבים לא ודאיים.
- **התנהגות במצב אי-ודאות:** המידע החסר (למשל, תוצאה של מבחן או הגרלה) מונע מבני אדם לגבש "סיבה טובה" לפעול, ולכן הם נוטים לדחות את ההחלטה או להימנע ממנה.
- **מבנה לוגי:** הגישה מתבססת על לוגיקה קלאסית שבה החלטות אמורות להיות תלויות רק במידע הידוע ובהעדפות האישיות של האדם.

לדוגמא, במצב שבו תוצאת מבחן אינה ידועה, אדם עשוי להימנע מלקבל החלטה על רכישת חופשה, למרות שהחלטה זו הייתה יכולה להיות זהה אם ידע שיצליח או ייכשל במבחן.

ההסבר של הקוגניציה הקוונטית

תיאוריית הקוגניציה הקוונטית משתמשת בעקרונות מתמטיים של מכניקת הקוונטים כדי להסביר את תוצאות הניסוי:

- **מיקוד ההסבר:** בחירה אנושית נתפסת כ"מצב על" שבו מספר מצבים אפשריים מתקיימים בו-זמנית עד שמתקבלת החלטה.
- **התנהגות במצב אי-ודאות:** כאשר יש חוסר ודאות, מוחו של האדם נמצא במצב של "סופרפוזיציה" בין האפשרויות השונות. רק בעת קבלת ההחלטה מתרחשת "קריסת מצב" (collapse), שמובילה לבחירה סופית.
- **תהליכי הפרעה/התאבכות (Interference):** ההסבר מתאר כיצד אי-ודאות משפיעה על ההסתברות של החלטות, באמצעות הפרעות או התאבכות בין המחשבות השונות.
- **מבנה לוגי:** הגישה נשענת על לוגיקה קוונטית, שבה התנהגות החלטות אינה מקיימת בהכרח את עקרונות הלוגיקה הקלאסית.

לדוגמא, במצב של אי-ידיעה לגבי תוצאת מבחן, "מצב העל" של קבלת ההחלטה (למשל, האם לקנות חופשה) מושפע מהסופרפוזיציה של "להצליח" ו"להיכשל." תהליך קבלת ההחלטה כולל הפרעות בין המצבים הללו.

השוואה בין ההסברים

לסיכום נשווה בין ההסברים שכל גישה מציעה:

היבט / גישה:	פסיכולוגיה	קוגניציה קוונטית
מקור ההסבר:	חיפוש סיבה רציונלית לפעול	"מצב על" ו"הפרעה" בין אפשרויות
מודל לוגי:	לוגיקה קלאסית	לוגיקה קוונטית
טיפול באי-ודאות:	חוסר ודאות מעכב החלטה	אי-ודאות כמצב קיומי עד לקריסה
שימוש במתמטיקה:	הסתברות קלאסית	הסתברות קוונטית

לסיכום, בעוד שטברסקי ושפיר מייחסים את אפקט הדיסיונקציה לצורך בסיבה להצדיק פעולה, הקוגניציה הקוונטית רואה את ההחלטה כתוצאה של אינטראקציה מורכבת בין אפשרויות המתקיימות במקביל עד להכרעה.

ההסבר השלישי - הסתברות של בחירה

בניגוד לשתי הגישות שתוארו קודם – הגישה הפסיכולוגית שמדברת על צורך בסיבה לפעול, והגישה הקוונטית שמתארת מצב הסתברותי של סופרפוזיציה – הגישה שאנחנו מציעים רואה את הנפש ככזאת שרוצה לבטא את עצמה. הבחירה היא הפעולה שהנפש פועלת כדי להביא את עצמה לידי ביטוי.
לפי שיטה זו, ההכרעה של האדם (קריסת הגל) היא הדרך בה הנפש מבטאת את עצמה ולא רק תגובה למידע או למצב. אמנם, דווקא במצבים של אי-ידיעה, כמו לפני קבלת תוצאת מבחן או הגרלה, ניכר יותר שהנפש רוצה לבטא את עצמה ולא רק מכריעה בין אפשרויות במציאות. הנפש נמצאת בשני רצונות בו זמנית, משום ששתי האפשרויות מבטאות אותה. גישת הבחירה החופשית, רואה את אפקט הדיסיונקציה כביטוי של הבחירה בנפש:

- **מיקוד ההסבר:** האדם שואף לבטא את עצמו דרך בחירה – לא רק לבחור בין אפשרויות קיימות, אלא ליצור את עצם האפשרות מתוך עצמו. ההכרעה היא הדרך בה הנפש מבטאת את עצמה, ולא רק תגובה למידע.

- **התנהגות במצב אי-ודאות:** כאשר תוצאה מסוימת עדיין לא ידועה (כמו הצלחה במבחן או זכייה בהגרלה), קיימים בנפש רצונות סותרים (לדוגמא, לקנות כרטיס ולא לקנות כרטיס). במצב כזה האדם עשוי לדחות את ההכרעה או לקנות לעצמו זמן – לא מתוך היסוס, אלא כדי **לשמר את הבחירה ולהשאיר את היכולת לממש כל אחד מהרצונות**.

לדוגמא, כאשר אדם אינו יודע אם עבר את המבחן, הוא אינו רק "ממתין למידע", אלא שרוי במצב שבו מתקיימים בו-זמנית גם הרצון לחגוג וגם הרצון להתנחם. האפשרות לקנות "הארכת זמן" מאפשרת לו **לבטא את קיומם של שני הרצונות יחד**, ולדחות את הרגע שבו אחד מהם יאלץ לקרוס ולהיעלם. בכך, הוא שומר על בחירה חופשית במובנה העמוק – לא לבחור מתוך סיבה, אלא מתוך העצמי.

סיכום שלושת הגישות

היבט / גישה	הגישה הפסיכולוגית	הגישה הקוונטית (קוגניטיבית)	גישת הבחירה החופשית (חסידות)
מיקוד ההסבר	חיפוש סיבה רציונלית לפעולה	מצב סופרפוזיציה והפרעה בין אפשרויות	ביטוי של הבחירה בנפש – הנפש רוצה לבחור ולהתגלות
התנהגות במצב אי-ודאות	היעדר סיבה מוביל לדחיית ההכרעה או הימנעות ממנה	הפרעות הסתברותיות בין מצבים סותרים מפחיתות את הסיכוי להכרעה	דחייה או רכישת זמן מבטאות את הרצון לשמר את האפשרות לבחור באופן חופשי
כלים מתמטיים	הסתברות קלאסית	הסתברות קוונטית	שילוב של הסתברות קלאסית וקוונטית
דוגמה	האדם לא מזמין חופשה עד שידע אם עבר את המבחן	אי-ודאות יוצרת סופרפוזיציה שמובילה לפחות קונים	קניית הארכת זמן מבטאת את קיום שני הרצונות יחד לפני קריסת ההכרעה

הבסיס ההסתברותי של הקוגניציה הקוונטית

הקדמה

לאחר שעמדנו על ההבדלים בין שלוש גישות עיקריות להסברת תופעת הדיסיונקציה – הגישה הפסיכולוגית הקלאסית, גישת הקוגניציה הקוונטית, וגישת הבחירה החופשית – אנו פונים כעת להעמקה יסודית בתשתית המתמטית של גישת הקוגניציה הקוונטית.
פרק זה יוקדש להצגת ההנחות ההסתברותיות שעליהן מבוססת גישת הקוגניציה הקוונטית, תוך הבהרה של ההבדלים המהותיים בינה לבין ההסתברות הקלאסית. נתאר את הכלים המתמטיים של מכניקת הקוונטים – ובעיקר את תופעת הסופרפוזיציה וההתאבכות – ונראה כיצד הם משמשים את חוקרי הקוגניציה הקוונטית.
בחינה זו תאפשר להבין את כוח ההסבר של הגישה הקוונטית לגבי ניסויי טברסקי ושפיר, ובהמשך תשמש אותנו גם בעיון בגישה השלישית שמציבה את מושג הבחירה במוקד.

הסתברות קלאסית וקוונטית

הסתברות קלאסית היא ענף במתמטיקה העוסק במדידת הסיכוי להתרחשות של אירועים בתנאים מוגדרים. בגישה הקלאסית, הסתברות של אירוע מחושבת כיחס בין מספר התוצאות הרצויות למספר כל התוצאות האפשריות, בהנחה שכל התוצאות שוות הסתברות. לדוגמה, בהטלת קובייה הוגנת בעלת 6 פאות, ההסתברות לקבל מספר זוגי היא 3 מתוך 6, כלומר חצי.

מדד לפי ידיעה

בהסתברות קלאסית, האירועים נתפסים כדטרמיניסטיים במובן זה שהסתברות היא מדד לידיעה שלנו על המערכת, ולא תכונה פנימית שלה.

ההסתברות מתארת את חוסר הוודאות שלנו לגבי תוצאה של ניסוי, אך היא אינה תכונה פנימית של המערכת עצמה. כלומר, אם היה לנו מידע מושלם על כל המשתנים הרלוונטיים, היינו יכולים לחזות בדיוק מה יקרה. לדוגמה, כשמטילים מטבע הוגן, אומרים שההסתברות לקבל עץ היא 50%. אך אם היינו יודעים את המהירות, הזווית, כוח ההטלה וכל הכוחות

הפועלים על המטבע, היינו יכולים לחשב בדיוק איך הוא ייפול. כלומר, חוסר הוודאות נובע מהידע החלקי שלנו ולא מכך שהתוצאה עצמה אינה מוגדרת מראש.

הגדרה זו מהותית לנו מכיון שבהמשך נפגוש את ההסתברות קוונטית שם הדברים מוגדרים אחרת. כפי שנראה, בהסתברות הקוונטית, שמקורה בתורת הקוונטים, הסתברויות נובעות מעקרון האי-ודאות ומייצגות מצבים סופרפוזיציוניים של חלקיקים או ישויות. כאן, בניגוד להסתברות הקלאסית, מדידות משנות את מצב המערכת באופן מהותי, והסתברויות מחושבות באמצעות אמפליטודות של פונקציות גל ולא כיחסים הפשוטים של תוצאות אפשריות. מסיבה זו, בהסתברות קוונטית, גם אם היה לנו את כל המידע האפשרי על מערכת מסוימת, עדיין לא ניתן היה לנבא את תוצאת המדידה באופן מוחלט. בניגוד לפיזיקה הקלאסית, בפיזיקה קוונטית, חלקיקים יכולים להימצא בסופרפוזיציה של מספר מצבים בו-זמנית, והתוצאה מתבררת רק בעת המדידה עצמה, שאז המערכת "קורסת" לאחד המצבים האפשריים באופן 'אקראי'.

הסתברות קלאסית - נוסחת ההסתברות השלמה

נפתח בהצגת אחת מהנוסחאות היסודיות של תורת ההסתברות, נוסחת ההסתברות השלמה:

$$P(A) \;=\; \sum_i P(A|B_i)P(B_i)$$

נסביר מעט את הסימונים. אם P היא פונקצית הסתברות ו-A הוא ארוע שמותנה במספר סופי של ארועים זרים B_i, אז:

$P(A)$ היא ההסתברות שארוע A יקרה.

$P(A|B_i)$ היא ההסתברות שארוע A יקרה בהנתן אירוע B_i.

$P(B_i)$ היא ההסתברות שארוע B_i יקרה.

הסימון $(\sum_i)$ משמעותו סכום של i איברים.

אם כן, משמעות הנוסחה היא, שההסתברות לאירוע מסוים A, שווה לסכום של מכפלות ההסתברויות המותנות של ארוע A בהנתן אירוע B_i בהסתברות שתנאי B_i יתקיים.

לדוגמא, נתבונן בניסוי ההגרלות של שפיר וטברסקי. ארוע A הוא הסכמה להגרלה נוספת, כלומר $P(A)$ הוא ההסתברות ששחקן יבחר להמשיך להגרלה נוספת. B_1 הוא ארוע של זכיה ב-200$ בהגרלה הראשונה ו-$P(B_1)$ הוא ההסתברות ששחקן מסוים זכה ב-200$ בהגרלה הראשונה. לעומת זאת, B_2 הוא ארוע של הפסד של 100$ בהגרלה הראשונה ו-$P(B_2)$ הוא ההסתברות ששחקן מסוים הפסיד 100$ בהגרלה הראשונה. $P(A|B_1)$ הוא ההסתברות ששחקן שזכה בהגרלה הראשונה ימשיך להגרלה נוספת ואילו $P(A|B_2)$ הוא ההסתברות ששחקן שהפסיד בהגרלה הראשונה ימשיך להגרלה נוספת. לפי זה, ההסתברות ששחקן כלשהו, שלא ידוע לנו אם זכה או הפסיד בהגרלה הראשונה, ימשיך להגרלה נוספת, תחושב באופן הבא:

$$P(A) = P(A|B_1)P(B_1) + P(A|B_2)P(B_2)$$

במילים: ההסתברות ששחקן כלשהו המשיך להגרלה נוספת שווה למכפלת ההסתברות שהשחקן זכה בהגרלה הראשונה כפול אחוז השחקנים שהמשיכו להגרלה הנוספת מבין אלו שזכו בראשונה ועוד ההסתברות ששחקן הפסיד בהגרלה הראשונה כפול אחוז השחקנים שהמשיכו להגרלה השניה למרות שהפסידו בראשונה.

מכיון שסיכויי הזכיה וההפסד בהגרלה שווים ושמבין אלו שזכו 69% המשיכו להגרלה השניה ומאלו שהפסידו 59% המשיכו, אז ההסתברות ששחקן כלשהו המשיך להגרלה השניה תחושב כך:

$$P(A) = 0.69 * 0.5 + 0.59 * 0.5 = 0.64$$

כלומר, ההסתברות שסתם שחקן (שלא ידוע אם זכה או לא) קנה כרטיס הוא 64%.

עקרון המהלך הבטוח (Sure-Thing Principle) הוא עקרון רציונלי בקבלת החלטות, שהוצג על ידי הכלכלן ליאונרד סבייג' (Leonard Savage). לפי עקרון זה, אם פעולה מסוימת עדיפה (על פני פעולה אחרת) בתרחיש א' וגם בתרחיש ב' אז יש לבחור בה, גם כאשר לא ידוע איזה מהתרחישים התקיים (או יתקיים). כלומר, אם תוצאה אחת עדיפה בכל תרחיש אפשרי, אזי אי-ידיעת המציאות לא אמורה להשפיע על הבחירה.

אם נחזור לניסוי ההגרלות של טברסקי ושפיר (1992), החוקרים הראו כיצד אפקט הדיסיונקציה מפר את עקרון המהלך הבטוח. כאמור, בניסוי המשתתפים התבקשו להחליט אם להשתתף בהגרלה נוספת של 50% סיכוי לזכות ב-200$ או להפסיד 100$. הניסוי כלל שלושה תרחישים:

1. **תרחיש הצלחה:** המשתתפים ידעו שזכו בהגרלה הראשונה.
2. **תרחיש כישלון:** המשתתפים ידעו שהפסידו בהגרלה הראשונה.
3. **תרחיש אי-ודאות:** המשתתפים לא ידעו את תוצאת ההגרלה הראשונה.

על פי עקרון המהלך הבטוח, אם המשתתפים בוחרים להשתתף בהגרלה השנייה בתרחיש הזכייה **וגם** בתרחיש ההפסד, אזי הם אמורים לבחור להשתתף בה גם כאשר תוצאת ההגרלה הראשונה אינה ידועה. ההחלטה להשתתף או לא להשתתף בהגרלה השנייה אמורה להתבסס רק על התוחלת הכלכלית של ההגרלה, שאינה משתנה בין התרחישים.

תוצאות הניסוי הראו שכשמשתתפים ידעו את תוצאת ההגרלה הראשונה (זכייה או הפסד), הם נטו להשתתף בהגרלה השנייה. אך כאשר הם לא ידעו את תוצאת ההגרלה הראשונה, רבים נמנעו מלהשתתף בהגרלה השנייה. התנהגות זו מדגימה את אפקט הדיסיונקציה, שבו חוסר ודאות גורם להשהיית החלטה או לשינוי בבחירה, למרות שעקרון המהלך הבטוח מכתיב שההחלטה אמורה להיות זהה בכל התרחישים[2].

[2] ליתר דיוק, טברסקי ושפיר הראו שעקרון המהלך הבטוח מופר בעיקר במצבים בהם שלושת התרחישים אינם מוצגים בסמיכות. ניסויים הראו כי במצבים אלו אנשים בדרך כלל אינם מסוגלים לקשר בין ההחלטות שהיו מקבלים בתרחישי הידיעה (הצלחה או כשלון) ולהסיק למצב אי-הודאות. לדוגמא, כאשר כל תרחיש הוצג לקבוצה אחרת או שתרחיש אי-הודאות הוצג לאחר תרחישי הידיעה אך בהפרש זמן של כמה ימים, רוב הנסיינים הפרו את עקרון המהלך הבטוח. לעומת זאת, בניסויים בהם שלושת התרחישים הוצגו יחד, אנשים כן הצליחו להסיק את המסקנה הרציונאלית במצב של אי-ודאות ושמרו על כלל המהלך הבטוח.

כדי לנסות להבין את הסטיה עליה הצביעו טברסקי ושפיר במחקרם, עלינו לשים לב להבדל שבין השאלות:

4. מה ההסתברות שסתם שחקן, שאני לא יודע אם הוא זכה בהגרלה הראשונה, (אף על פי שהוא כן ידע) המשיך להגרלה השניה?
5. מה ההסתברות שאני בתור שחקן (שלא יודע אם הרוויח או הפסיד בהגרלה הראשונה) אמשיך להגרלה השניה?

בהשקפה ראשונה נראה שמבחינה לוגית, התשובות לשאלות אמורות להיות זהות. יכולנו לחשוב שאחוז השחקנים שימשיכו להגרלה השניה - מבין אלו שלא יודעים אם הרויחו או הפסידו - יהיה ממוצע בין אחוזי אלו שהמשיכו כשהרוויחו ואלו שהמשיכו כשהפסידו. אמנם טברסקי ושפיר הראו, כי למרות שבין המרוויחים 69% המשיכו ובין המפסידים 59% המשיכו, אצל השחקנים שלא ידעו אם הרוויחו או הפסידו, רק 36% המשיכו. כלומר, סטיה של 28% מהממוצע שמציעה נוסחת ההסתברות השלמה.

אם כן, קיימת כביכול סתירה או כשל לוגי אצל השחקנים שלא יודעים אם הרוויחו או הפסידו. למרות שניתן לצפות שבקבוצת השחקנים שלא קיבלו את תוצאות ההגרלה הראשונה, חצי ירוויחו וחצי יפסידו, אחוז הממשיכים להגרלה השניה אינו משקף ממוצע זה כלל. העובדה שממוצע של שני גדלים מניב ערך קטן מהממוצע, הזכיר לחוקרים רבים את תופעת ההתאבכות באור. כאשר שני גלים של אור נפגשים בנקודה אחת, הם עשויים להתאבך ביניהם ולגרום לכך שעוצמת האור שתמדד תהיה קטנה מסכום האנרגיה של הגלים בנפרד.

תורת הקוונטים תרגמה את תופעת ההתאבכות ואת עוצמת האור למדת ההסתברות להמצאות של פוטון. הפוטון הוא 'חלקיק' (או 'קוונט') של אור שמתקבל כאשר מודדים את עוצמת האור. ההסתברות להמצאות של פוטון במקום המדידה, נגזרת ממשוואת ההסתברות הקוונטית של גלי האור המתאבכים. בהשראת הדימוי הנ"ל, חוקרים ניסו להתאים את נתוני הניסוי של שפיר וטברסקי למשוואות ההסתברות הקוונטית וכך להעניק תאור קוונטי לחישובי ההסתברות. פיתוח של גישה זו הוביל לנסיון לתאר את האדם כבעל 'קוגניציה קוונטית' ולשימוש במשוואות ההסתברות הקוונטית במקום בנוסחת ההסתברות השלמה.

הנחת הדואליות של האור, לפיה לאור יש טבע כפול, גלי וחלקיקי, הובילה לפיתוח של תאוריית הקוונטים המקשרת בין משוואת הגל של האור למיקום של חלקיקי האור. האור הוא גל של אנרגיה, אותו ניתן לתאר כשדה אלקטרומגנטי מתנודד, אשר מתפשט במרחב. כאשר אנרגיה זו נמדדת, נמצא את האנרגיה מרוכזת בחלקיקים בדידים או ב'קוונטים' של אור.
בניסויים כמו ניסוי שני הסדקים, נחשפו התכונות הגליות של האור, כגון עקיפה והתאבכות. לעומת זאת, ניסויים כמו הניסוי הפוטואלקטרי הראו שהאור נמדד בכמויות בדידות, המכונות פוטונים. על מנת לקשר בין שני הטבעים של האור, תאוריית הקוונטים לפי פרשנות קופנהגן הציעה נוסחה הסתברותית המבוססת על הקשר בין צפיפות האנרגיה שבאזור מסוים בשדה האלקטרומגנטי להסתברות למדידת פוטון באותו אזור. נעיר, שלאחר שנים של מחקר התברר שאופי דואלי זה, שייך לא רק לאור אלא כל סוגי החלקיקים, אלא שהוא ניכר ומדיד רק בתחום החלקיקים שבסדר גודל אטומי. כל סוג חלקיק וכן כל מצב של חלקיק יתואר על ידי פונקצית גל אחרת. אם גל של חלקיקים (לדוגמא אלקטורונים) יתואר על ידי הפונקציה Ψ, אז נוסחת ההסתברות הקוונטית שתתן לנו את ההסברות להמצאות החלקיק תהיה:

$$P = |\Psi|^2 = |\sum_i \varphi_i|^2$$

לפי הנוסחה ההסתברות למצוא חלקיק שווה לריבוע של פונקצית הגל. מכיון שחיבור של גלים נותן גל (שהוא סופרפוזיציה של כל הגלים), במקרה בו יש מפגש של כמה גלים יחד, ההסתברות למצוא חלקיק תהיה שווה לערך של סכום הגלים ברבוע.
אם נתבונן בהסתברות שתתקבל עבור שני גלים נפרדים, ההסתברות להמצאות חלקיק עבור כל גל יהיה שווה לרבוע של משוואת הגל שתייצג אותו.
לדוגמא,

$$P_1 = |\varphi_1|^2 ;\ P_2 = |\varphi_2|^2$$

אמנם, במקרה בו הגלים ימצאו בו זמנית באזור אחד, לא נחשב את ההסתברות להמצאות חלקיק באותו אזור על ידי חיבור ההסתברויות של שני הגלים (בהתאם לנוסחת ההסתברות השלמה), אלא קודם נחבר את משוואות הגל ורק אחר כך נעלה ברבוע את משוואות הגל שתתקבל:

$$P_{1+2} = |\varphi_1 + \varphi_2|^2$$

(ולא ככה: $P_{1+2} = P_1 + P_2 = |\varphi_1|^2 + |\varphi_2|^2$)

אם נפתח את המשוואה נראה שמתקבלת תוצאה השונה מסכום ההסתברויות הרגיל:

$$P_{1+2} = |\varphi_1 + \varphi_2|^2 = \varphi_1{}^2 + \varphi_2{}^2 + 2\varphi_2\varphi_2$$

את הגורם שנוסף לנו, $2\varphi_2\varphi_2$, אנו מכנים - גורם סטיה, והוא משקף את הסטיה בהסתברות שמתקבלת במצבי התאבכות (כלומר חבור גלים).

מפתחי הרעיון של הקוגניציה הקוונטית, זיהו את הפוטנציאל של שימוש בנוסחת ההסתברות הקוונטית כדי להסביר את ההפרה של נוסחת ההסתברות השלמה, בניתוח של מצבי אי-ידיעה. על ידי הגדרת הסתברויות באמצעות משוואות גל, ושימוש במשוואת ההסתברות הקוונטית, ניתן לקבל סטיה מהסכום הישר של ההסתברויות וזאת כתוצאה מגורם הסטיה שמתקבל, כנ"ל.

כאמור, לבד מהפתרון הטכני שמעניקה משוואת ההסתברות הקוונטית, הדמיון בין המצב התודעתי של הכרעה בין אפשרויות באי-ידיעה, לסופרפוזיציה והתאבכות של גלים, היתה גם היא מקור השראה לשימוש במשוואת הקוונטים. אם במקום להעניק הסתברות קבועה לכך ששחקן המשיך להגרלה שניה (כשהוא זכה או הפסיד בראשונה), נייחס לכל מצב כזה (של השתתפות בהגרלה השניה במקרה של זכיה\הפסד בראשונה) משוואת גל, נוכל לתאר את ההכרעה של השחקן שלא יודע אם זכה או הפסיד כהכרעה או מדידה של חלקיק באזור של התאבכות של שני גלים.

לעיל הזכרנו את ניסוי שני הסדקים באור. בניסוי זה מעמידים מקור אור חלש מאוד שמשחרר חלקיקי אור בודדים מול מחסום עם שני סדקים צרים. בניסוי הראשון פותחים לסרוגין כל סדק בנפרד, ורושמים את מספר הפגיעות באזור שמול כל סדק. לאחר מכן פותחים את שני הסדקים בו זמנית ורושמים שוב את מספר הפגיעות מול כל אחד מהסדקים. כאשר נשווה את מספר הפגיעות שספרנו בניסוי הראשון למספר שספרנו בניסוי השני, נראה ירידה במספר הפגיעות, כאשר למעשה החלקיקים החסרים ימצאו במרכז המסך (בין שני הסדקים). בהתאם לזאת, נזהה יותר פגיעות במרכז המסך בניסוי השני מאשר בשני החלקים של הניסוי הראשון יחד (בפתיחת כל סדק בנפרד). הסיבה לשינויים אלו היא התאבכות של גלי האור שעוברים בשני הסדקים. ניסוי שני הסדקים מדגים את אופיו הגלי של האור: כאשר שני הסדקים פתוחים בו זמנית, מתקבלת על גבי המסך תבנית התאבכות, המעידה על כך שגלי האור העוברים דרך כל אחד מהסדקים פועלים זה על זה ויוצרים חיזוק או ביטול הדדי – תופעה המאפיינת התנהגות גלית. עצם הופעת תבנית ההתאבכות כאשר שני הסדקים פתוחים מלמדת כי לא רק המעבר בשני הסדקים יחד מייצר התנהגות גלית, אלא שגם במעבר דרך סדק יחיד שומר האור על אופיו הגלי – אף אם תופעת ההתאבכות פחות מובחנת במצב זה. תוצאה זו סותרת את התפיסה החלקיקית הפשוטה של האור, ומעידה כי גם כאשר מדובר בפוטונים בודדים, הם נעים על פי עקרונות גלים, כאשר ההסתברות למדידתם מתוארת באמצעות פונקציית גל ולא כחישוב דטרמיניסטי רגיל. נוכל לחשב את ההסתברות למצוא פוטון של אור בנקודה מסוימת על המסך על ידי שימוש בנוסחת ההסתברות הקוונטית. אם נחבר את משוואת הגל שבוקע מסדק א' למשוואת הגל שבוקע מסדק ב' ונעלה ברבוע, נוכל למצוא עבור נקודה x על המסך את ההסתברות להמצאות פוטון.

אם נחזור לניסוי ההגרלות, פתיחת כל סדק בנפרד תהיה דומה למצב בו השחקן יודע אם זכה בהגרלה הראשונה. אם נמדוד את מספר הפגיעות באזור שמול אחד מהסדקים כאשר כל סדק פתוח בנפרד ונשווה סכום זה למספר הפגיעות כאשר שני הסדקים פתוחים בו זמנית, נראה ירידה במספר הפגיעות. בהשוואה לניסוי ההגרלות, מספר הפגיעות שיספרו הוא מספר השחקנים שהמשיכו להגרלה נוספת. המצב בו פותחים את שני הסדקים יחד (בו סך מספר הפגיעות מול הסדקים יורד), מקביל למצב של אי-ודאות בו השחקן לא יודע אם זכה בהגרלה הראשונה או לא. במצב זה שתי האפשרויות קיימות בו זמנית אצל השחקן וכתוצאה מכך מספר השחקנים שממשיכים להגרלה השניה יורד.

הסתברות של בחירה - פיתוח של הגישות הקודמות

שילוב של הסתברות קלאסית וקוונטית

במאמר זה, ברצוננו להציג **גישה שלישית** שמבוססת על האופן שבו תורת החסידות מבינה את הטבע הבחירי של הנפש. למרות שגישה זו מחודשת מעיקרה, היא מסכימה באופן חלקי עם כל אחת מהגישות שהצגנו לעיל (גישת הפסיכולוגיה וגישת הקוגניציה הקוונטית).

כפי שנאריך להסביר בהמשך המאמר, הנפש נחלקת לשני חלקים עיקריים: **החלק המודע הגלוי** ו**החלק הקדם מודע הנסתר**. כל אחד מהם מתנהל לפי לוגיקה שונה: החלק המודע פועל בהתאם ללוגיקה קלאסית, בעוד שהחלק הלא-מודע מושתת על לוגיקה קוונטית. בדומה לאופן שבו הפיזיקה מתחלקת לפיזיקה קלאסית, המתאימה לתיאור מערכות מקרוסקופיות, ולפיזיקה קוונטית, המתמקדת במערכות מיקרוסקופיות, כך גם הנפש מורכבת משתי שכבות: **השכל-ההיגיון הגלוי** ו**הבחירה שמולידה תענוג ורצון נסתרים**.

- **החלק הגלוי של הנפש** מתפקד בדומה לפיזיקה הקלאסית, ולכן ניתן למדידה ישירה וברורה, כפי שמודדים תופעות פיזיקליות קלאסיות. הרובד הגלוי בנפש, מתמקד בסך ובשכלול של כוחות חיצוניים, בדומה לפיזיקה הקלאסית, ומתאר את השפעתן של סיבות ברורות על האדם.

- **החלק הנסתר בנפש**, לעומת זאת, מתנהג כמו מערכות קוונטיות, שמתוארות בצורה גלית וניתן למדידה רק בדרך הסתברותית. רובד זה בנפש מתמקד בשכלול הסתברויות, ומקביל לכך שהאדם מביא את הבחירה החופשית שלו לידי ביטוי.

סדר הופעת הבחירה בנפש

הבחירה האנושית נובעת משילוב בין שני קצוות: **חופש והכרעה**. ההסתברות מבטאת את הדינמיקה בין הקצוות הללו: מצד אחד, יש נטייה להכרעה; מצד שני, נשמר חופש הבחירה מה תהיה ההכרעה. הבחירה מביאה את עצמה לידי ביטוי באמצעות הסתברויות, המשקפות את האיזון בין חופש להכרעה. נוכל לחלק את הופעת הבחירה בנפש לתהליך בן שלושה שלבים:

1. **שלב א' (טרום מודע) – חופש היציאה מהנסתר אל הגלוי**:
זהו השלב הראשוני, המתרחש בתוך הנפש ולפני המודעות. הנפש בוחרת לצאת מההעלם ולהביא את עצמה לידי ביטוי. בשלב זה הדגש הוא על **החופש**, כאשר עצם ההחלטה לא להישאר במצב חבוי מבטאת קצת **הכרעה**.
2. **שלב ב' (מודע) – ריבוי אפשרויות והסתברויות**:
במעבר לשלב המודע, הנפש מייצרת במודעות האדם מגוון אפשרויות, כאשר כל אחת מהן מבטאת את הרצון הפנימי של הנפש ברמה שונה. ההסתברות של בחירה באפשרות מסוימת עולה ככל שהיא מבטאת את הרצון הפנימי בעוצמה רבה יותר. כאן:
   - **החופש** מתבטא במגוון האפשרויות הפתוחות.
   - **ההכרעה** מתבטאת בבחירת האפשרויות הספציפיות ומדידת המשקל ההסתברותי של כל אחת מהן.

   לאחר שהאפשרויות השונות קיימות במודעות של האדם (במקביל), האדם דן עם עצמו על האפשרויות השונות על היחס ביניהם וכמה כל אחת מבטאת את רצונו הפנימי.

3. **שלב ג' (הכרעה במציאות) – הכרעה וביטוי החירות**:
זהו השלב הסופי, שבו מתקבלת הכרעה באיזו אפשרות לבחור. יש בו ממד של

אקראיות, המשקף את העדר הכפייה ואת החירות של הנפש לבחור. בשלב זה **ההכרעה** הופכת למרכזית, כאשר הבחירה עצמה באה לידי ביטוי דרך מימד האקראיות.

בעוד שהשלב הראשון בתהליך הנ"ל מתאים בעיקר לתאור הקוונטי, ניתן לתאר את שני השלבים האחרונים בשני אופנים, קוונטי וקלאסי. בשלב השני, ניתן לראות את אומדן הנפש של מה שמתחולל בתוכה כתיאור קוונטי של הסתברויות תואמות רצון. אמנם, ניתן גם לתאר את אומדן האפשרויות כהערכת ההשפעה של המציאויות השונות עליה, בהתאם לתיאור הקלאסי. בשלב השלישי, בו נעשית ההכרעה בין האפשרויות, ניתן לראות תהליך זה באור קוונטי, המכונה "קריסה" של כלל ההסתברויות לאפשרות אחת. לעומת זאת, בתיאור הקלאסי, ההכרעה נתפסת כמושכלת ומבוססת על חישוב לוגי.

לסיכום, על ידי העמקה במבנה הנפש, ננסה להסביר מדוע המושג הסתברות, כפי שהוא מופיע בתורת הקוונטים, משמש משל לבחירה בנפש. השוואה זו בין הנפש להסתברות הקוונטית תוסיף לנו הבנה לגבי המתחולל בנפש. גילוי הבחירה בנפש, על שני קצותיו (חופש והכרעה) נעשה בשלושה שלבים, תוך חיבור בין התיאורים הקלאסי והקוונטי. הבחירה האנושית אינה תוצאה של סיבה חיצונית בלבד או של שרירותיות מוחלטת, אלא תהליך מורכב שבו הנפש מביאה את עצמה לידי ביטוי ונותנת ביטוי לחופש והכרעה גם יחד.

חוסר ההגיון כביטוי של הנפש

במהלך המאמר, נאריך להסביר באופן מפורט את הדינמיקה בנפש והאופן בו הנפש מביעה את עצמה בבחירות שלה. כדי להבין את הצורך בהסבר של הבחירה החופשית, נבחן לעומק איך כל אחת מהגישות הקיימות - הפסיכולוגית והקוונטית - מתייחסת באופן ממוקד לניסויים שהצגנו לעיל ונבחן את נקודות החולשה שלהן. ראשית נחזור על עיקרי ההסברים שכל שיטה מציעה.

הסבר הפסיכולוגיה הקלאסית - ניסוי כרטיסי החופשי

נפתח דווקא בדוגמא של כרטיסי החופשה. הוגי הניסוי כינו אותו (ואת המסקנה שלמדו ממנו) "לשלם כדי לדעת". לשיטתם, הניסוי הראה שרוב האנשים מוכנים לשלם כדי לדעת לשם מה הם הולכים לקנות את החופשה ותוצאה זו היא כשל לוגי, שכן אותם שחקנים הראו שמבחינתם שתי הסיבות לקניית החופשה הן טובות (פרס במקרה של הצלחה במבחן או פיצוי במקרה של כשלון).

לפי הגישה של הפסיכולוגיה הקלאסית, מצב של אי-ודאות מייצר מחסור בסיבות לנקיטת יוזמה. לדוגמא, בניסוי הכרטיסים, כאשר לא ברור לאדם האם הוא קונה כרטיס חופשה (בתור פיצוי על כשלון במבחן או בתור פרס על הצלחה), ממילא **אין** לו סיבה ברורה קנות כרטיס. מצב זה גורם לכך שלמרות שכל מצב (הצלחה או כשלון) בפני עצמו הוא סיבה מספקת לקנות כרטיס חופשה, אי-ודאות שוללת את שתי הסיבות יחד.

הקשיים בגישת הפסיכולוגיה הקלאסית

נשים לב כי טברסקי ושפיר לא התייחסו לסיבות בגינם סטודנטים קנו הארכת זמן במצבי ידיעה (ראה טבלה בעמ' ??). לשיטתם, 61% מהסטודנטים שקנו הארכת זמן במצב אי-ודאות, "שילמו כדי לדעת", אך מדוע גם במצבי הידיעה כ-30% מהסטודנטים קנו הארכת זמן?

לדעתנו ההסבר של טברסקי ושפיר - לפיו במצב אי-ודאות ישנו כשל לוגי שמביא את האדם "לקנות ידע" לחנם - אינו מתאר נכון את הנפש. לדעתנו, הבחירה "לקנות ידע" אינה תוצאה של כשל לוגי, שהרי גם במצב של ידיעה 30% מהסטודנטים בוחרים לקנות הארכת זמן. לדעתנו ההכרעה לקנות הארכת זמן היא ביטוי של הבחירה בנפש. לפני שהאדם מכריע בפועל הוא גם רוצה את החופשה וגם לא רוצה, והוא יכול לבחור. לעומת זאת, לאחר ההכרעה בפועל, האדם כבר לא יכול לבחור ולא יכול להביע את שני הרצונות הסותרים שיש לו בתוך הנפש. לכן, רכישת הארכת הזמן, למעשה מביעה את יכולת הבחירה בנפש, ואת קיומם של רצונות סותרים בנפש. האדם נהנה מהבחירה שיש לו בהארכת הזמן שהוא קנה (עד שהוא נדרש להכריע). ביטוי נפשי של הבחירה מתגלה לא רק במצב של אי-ודאות אלא גם בקניית הארכת זמן במצב של ודאות. מדוע אם כן (לפי שיטתנו), כמות הסטודנטים שקונים הארכת זמן מכפילה את עצמה במצב של אי-ודאות? הסיבה היא, שבמצב של ודאות, האדם לא מרגיש שעוד זמן יוסיף לו בחירה משמעותית, מכיון ששום דבר לא עתיד להתחדש לו. אין הבדל אם יכריע כעת או מחרתיים. לעומת זאת, במצב של אי-ודאות, הבחירה של

האדם גדלה משמעותית על ידי דחיית ההכרעה ביומיים. אם האדם יכריע במצב של אי-ודאות ויתברר לו שהסיבה שהוא קנה את הכרטיס לא התקיימה (לדוגמא, הוא הניח שהוא קונה כפרס על הצלחה ובסוף הוא נכשל), אז הוא ירגיש שהכרטיס נקנה בעל כרחו, כלומר, לא מבחירתו. לכן במצב של אי-ודאות, האדם יעדיף לדחות את הקניה כדי להגדיל את הבחירה שלו.

הסבר הקוגניציה הקוונטית - ניסוי כרטיסי החופשה

לעומת זאת, מפתחי תיאורית הקוגניציה הקוונטית, מתעלמים מהאנשים שקונים הארכת זמן ומתמקדים רק באחוז הקונים שירד מממוצע של 55.5% ל-32%. תופעה זו מוסברת על ידי חוקרים כגון פרופ' אנדריי חרניקוב[3] (Andrei Khrennikov) כ'התאבכות הורסת' בין מצבים שונים של הצלחה וכשלון במבחן (שקיימים במקביל בנפש כתוצאה מאי-הידיעה) שגורמים בפועל לכך שפחות אנשים קונים את החופשה.
לפי גישת הקוגניציה הקוונטית, מצב של אי-ודאות מייצר "מצב על" שמכיל את שתי הסיבות גם יחד, כלומר יש לי **יותר** סיבות בו זמנית. אם אני לא יודע אם זכיתי בהגרלה הקודמת או הפסדתי, אז למעשה יש לי בו זמנית שתי סיבות להמשיך להגרלה נוספת, גם סיבה של צמצום נזקים וגם סיבה של הגדלת הרווחים. לפי זה, כיצד מסבירה הקוגניציה הקוונטית את התמעטות השחקנים שממשיכים להגרלה הבאה? לפי הקוגניציה הקוונטית, המצבים השונים אינם מיוצגים על ידי סיבות סטטיות אלא על ידי מצבים הסתברותיים הקיימים במקביל בנפש. אם נרצה נוכל לדמות מצבים אלו לגלי אור שכל תדר בפני עצמו מאיר בעוצמה מסוימת, אך החיבור בין שני התדרים עשוי דווקא להחליש את ההארה בעקבות התאבכות הורסת בין הגלים.

הקשיים בגישת הקוגניציה הקוונטית

ראשית, נשים לב שהסבר הקוגניציה הקוונטית, מתעלם לחלוטין מהנתון לפיו 61% מהסטודנטים קנו הארכת זמן. כלומר, מבחינתם ההשלכות של מצב האי-ודאות, הוא לא

[3] ראה **Ubiquitous Quantum Structure** עמ' ???

בקניית ידע אלא בפחות קונים בפועל. הקוגניציה הקוונטית למעשה מתארת את הניסוי כאילו לא ניתנה אפשרות כלל של הארכת זמן באף אחת מהאפשרויות.

לדעתנו, האופן הזה של הצגת הנתונים הוא שגוי. ניתוח הנתונים שהם מציגים מתעלם מהאפשרות של קניית הארכת זמן ומתאים לניסוי בו ישנם רק שתי אפשרויות: לקנות כרטיס או לא לקנות. אכן, ביחס לניסוי כזה (בו אין אפשרות של קניית הארכת זמן), הקוגניציה הקוונטית מספקת באופן עקרוני תאור מכוון של הנפש ומשקפת נכון את היחס בין נתוני הקניה. בהמשך נסביר יותר מדוע משוואות קוונטיות מתאימות לתאר את הנפש ונציג את אופן השימוש במשוואות כפי שצריך להיות לדעתנו (שהוא שונה מעט מהאופן שבו הקוגניציה הקוונטית משתמשת).

הסבר גישת הבחירה בקשר לניסוי ההגרלות

כעת נתייחס לניסוי ההגרלות. בניסוי זה לא ניתנה אפשרות של הארכת זמן, והתוצאות מראות ירידה משמעותית במספר השחקנים שהמשיכו להגרלה השניה בקבוצת אי-הודאות (מממוצע של 64% ל-36%). גם כאן, נוכל להסביר באופן דומה להסבר לעיל. במצב של ידיעה, רוב השחקנים רוצים להמשיך כי יש להם סיבות טובות להמשיך (לפצות על ההפסד או להגדיל רווחים) ומבחינתם הכרעה תבטא את יכולת הבחירה (כפי שהסברנו לעיל, ההכרעה היא חלק מתהליך הבחירה). לעומת זאת, במצב של אי-ודאות, השחקן מרגיש שלהמשיך להגרלה הבאה לא בטוח יבטא את הבחירה שלו. אם האדם ימשיך להגרלה הבאה מתוך מחשבה שהוא הפסיד בראשונה (ושהוא רוצה לפצות על ההפסד), ולבסוף יתברר שדווקא זכה בהגרלה הראשונה, הוא ירגיש שהוא לא ביטא את הבחירה שלו - שהרי הוא לא המשיך להגרלה השניה כדי להגדיל רווחים אלא כדי לפצות על ההפסד.
כלומר, במצב של אי-ודאות, להמשיך להגרלה השניה, מבטא הרבה פחות בחירה, מאשר במצב של ודאות. במצב של אי-ודאות יש 50% סיכוי שאני טועה בהערכה שלי לגבי תוצאות ההגרלה הראשונה ולכן יש סיכוי של 50% שאני למעשה קונה 'בעל כרחי'. מכיון שהנפש רוצה לבטא את הבחירה שלה, ומכיון שהבחירה באה לידי ביטוי באופן משמעותי יותר במצב של ודאות, לכן יש יותר שחקנים שממשיכים להגרלה השניה במצב של ודאות.

השורש הרעיוני של גישת הבחירה

מבנה הנפש – בין החסידות לפסיכולוגיה הכללית

שאלת מהות ומבנה הנפש מעסיקה את המחשבה הפילוסופית והמדעית זה דורות רבים. תורת החסידות, הממשיכה את חכמת הקבלה, מציעה גישה ייחודית להבנת הנפש, הרואה בה מהות רוחנית עצמאית ובוחרת. בניגוד לתפיסה הפסיכולוגית הקלאסית, ובמיוחד לזו שהתפתחה מתוך הגותו של זיגמונד פרויד, לפיה הנפש היא מערכת תגובתית הפועלת בתוך הגוף ומתעצבת על ידי דחפים, מאבקים לא-מודעים ומנגנוני הסתגלות – החסידות עוסקת בנפש עוד קודם לכניסתה לגוף, כשהיא במעמדה הרוחני העצמאי. בחסידות מתוארת הנפש כיישות רוחנית עצמאית, שקודמת לגוף ובוחרת להתלבש בו כדי להגשים את ייעודה. גישה זו אינה מסתפקת בתיאור פונקציונלי של הנפש, אלא רואה בה מהות טרנסצנדנטית בעלת מבנה פנימי והיררכיה רוחנית.
עם זאת, ראוי לציין כי בצד גישתו של פרויד קיימות אסכולות פסיכולוגיות נוספות – כגון הגישה ההומניסטית או האקזיסטנציאליסטית – הרואות בנפש יותר מסך של דחפים או הסתגלויות. גישות אלו מתארות את האדם כישות שואפת, בוחרת ומתפתחת, ולעיתים מציגות קווים רעיוניים קרובים לתפיסה החסידית של הנפש כבעלת מהות טרנסצנדנטית ובחירה חופשית עמוקה.

מהות הבחירה בתורת החסידות

בחירה בין אפשרויות – התפיסה הרווחת

כאשר מדברים על בחירה, מקובל לחשוב עליה כתהליך של הכרעה בין אפשרויות קיימות. האדם מתבונן במציאות שסביבו, מזהה את החלופות שמונחות לפניו, ובוחר את הנתיב שנראה לו מועיל, נכון או נוח יותר. הבחירה, במובן הזה, נתפסת כתהליך של איזון בין

שיקולים שונים – לעיתים רגשיים ולעיתים תועלתניים – וכל כולה מתנהלת בתוך שדה קיים של אפשרויות נתונות מראש.

תפיסה זו באה לידי ביטוי גם בכמה מהגישות המרכזיות בפסיכולוגיה המודרנית. כך למשל, בגישתו של זיגמונד פרויד, הבחירה של האדם מובנת כתוצאה של לחצים פנימיים (כגון דחפים לא-מודעים) ולחצים חיצוניים (כגון נורמות חברתיות או תנאי מציאות). במצב כזה, האדם שואף להפחית קונפליקט או להשיג רווח כלשהו, ובוחר את האפשרות שתשרת את מטרתו בצורה הטובה ביותר. הבחירה היא אפוא פעולה הסתגלותית בתוך עולם מוגדר, והנפש מגיבה למציאות, נעה בין משיכה ודחייה, ומתוך כך מכריעה.

כך למשל, כאשר אדם מתלבט אם להיענות להזמנה לאירוע חברתי או להישאר בבית, הוא עשוי לשקול איזו מבין האפשרויות תהיה לו נוחה יותר מבחינה רגשית או פרקטית – ולקבל החלטה בהתאם למידת המשיכה שהוא חש כלפי כל אחת מהן.

הבחירה הפנימית – תנועה מהנפש אל המציאות

במאמר שלפנינו אנו מבקשים להאיר היבט אחר של הבחירה – כזה שעולה מתוך מקורות הקבלה והחסידות. על פי גישה זו, הבחירה אינה רק תהליך של תגובה לאפשרויות קיימות, אלא יכולה להיות גילוי פנימי של הנפש עצמה – תנועה מתוך האדם פנימה אל העולם, ולא מהעולם אל תוך האדם.

בכתבי האריז"ל, מתוארת הבחירה בשורשה העליון – כפי שהיא קיימת אצל הקב"ה עצמו. מאחר שאין דבר שמחוץ לאלוקות, הרי שהבחירה האלוקית אינה מתרחשת בין אפשרויות קיימות, אלא היא עצמה יוצרת את האפשרויות. המציאות – על שלל מצבי הבחירה שבה – איננה תנאי מקדים לבחירה, אלא תוצאה שלה.

במובן זה, הבחירה האלוקית היא ביטוי של הרצון העצמי, ולא תגובה לתנאים חיצוניים. כאשר הקב"ה "בוחר" – הוא יוצר, מגלם את רצונו במציאות. האריז"ל מפרש את הפסוק "בצלם אלוקים עשה את האדם", שאלוקים נתן באדם בחירה חופשית הדומה לשלו: תכונת הבחירה היא לא רק להכריע בתוך מציאות נתונה, אלא להמציא את אפשרויותיו מתוך עצמו, וכך לבטא את הנפש שלו. האפשרויות אינן נתון שיש להכריע בתוכו, אלא תוצאה של בחירה עצמית: הנפש היא זו שיוצרת את האפשרויות בהתאם לאופן שבו היא מבקשת להתגלות. הבחירה קודמת למציאות, ולא רק מגיבה לה.

כך, לדוגמה, במקום לשאול "מה עדיף לי – לימודים או עבודה?", האדם עשוי לשאול "איך אני בוחר לבטא את עצמי בעולם?" – ומתוך כך עשויות להיווצר דרכי חיים חדשות שלא

הוגדרו מראש. הבחירה כאן איננה הכרעה טכנית בין אופציות, אלא ביטוי של הנפש, וממילא גם המצאה של אופציות חדשות.

מבנה הנפש על פי החסידות

לאור כתבי הקבלה והחסידות, הרב יצחק גינזבורג מסביר כי הנפש מתגלה במבנה רב-שכבתי, שמתחיל ברובד העליון (העל מודע) הנקרא **כתר**, ומשתלשל ממנו כלפי מטה אל השכל (המודע) והמידות (רגשות). במאמרים רבים, הרב גינזבורג מסביר בצורה עמוקה את המבנה הפנימי של ספירת הכתר ואת הדרך בה מבנה זה מתבטא בנפש. בהתבסס על מאמרים אלו, נשתמש בפרקים הבאים בשלישית המושגים '**בחירה תענוג ורצון**' לתאר את התשתית של החלק הלא-מודע בנפש. ספר הזוהר מתאר את המבנה של ספירת הכתר כך: *"דא לגו מן דא ודא לעילא מן דא"* – זה בתוך זה וזה למעלה מזה. ביטוי זה משקף את הסדר הפנימי שבין שלושת כוחות הנפש הללו: הבחירה היא הנעלה מכולן, היא זו שמעל הרצון, והרצון חובק בתוכו את התענוג. במובן זה, הבחירה היא השורש – העצם שבוחר להתגלות, ומכוחה נולדים התענוג הפנימי והרצון החיצוני. מהרובד העליון של הכתר, ממשיכה הנפש להתגלות דרך השכל – שהוא החלק המודע, הכולל את כוחות החכמה, הבינה והדעת – ומשם אל המידות והכוחות הפועלים בגוף.

תענוג ורצון – ביטויים של העצמיות

בחסידות, התענוג והרצון אינם תוצרים של תגובה לגירוי חיצוני, אלא השורש של כל תענוג הוא תענוג של הנפש מעצמה והרצון הוא המשכה של הנפש כלפי חוץ. אולם את שניהם מקדימה הבחירה, שהיא ביטוי עמוק לחירות המוחלטת של הנפש, היא זו שבוחרת להתענג וזו שמולידה את הרצון. לא תענוג, ולא דחף, מניעים את הבחירה – אלא הבחירה היא שמולידה את תנועת החיים כולה.

תפיסת הנפש לפי פרויד

לעומת הגישה החסידית, פרויד תיאר את מבנה הנפש כמתחלק לשלושה חלקים עיקריים:

- **איד (Id)** – הרובד הלא-מודע של דחפים ותשוקות בסיסיות.
- **אגו (Ego)** – החלק המודע, המתמודד עם דרישות המציאות.
- **סופר-אגו (Superego)** – המצפון, או המערכת של נורמות מוסריות מופנמות.

על פי תפיסה זו, הלא-מודע הוא העמוק והראשוני ביותר, והנפש אינה אלא מערכת מתפקדת בתוך הגוף, הפועלת מתוך קונפליקט תמידי בין דחפים אסורים, מגבלות המציאות, וחוקים מוסריים.

שורש ההבדל

השוני המהותי בין הגישות נובע מהבנה שונה של נקודת המוצא של הנפש. לפי תפיסתו של פרויד, האדם מופיע לעולם כיישות גופנית ראשונית, שבתוכה מתגבשת הנפש כתוצר של אינסטינקטים בסיסיים, דחפים בלתי-מודעים ומאבקים פנימיים. במסגרת זו, הנפש ממלאת תפקיד פונקציונלי – כלי הסתגלות והתאמה למציאות החיצונית. בהתאם לגישתו של פרויד, התפתחות הנפש איננה תהליך עצמאי או טרנסצנדנטי, אלא תוצר של מפגש מתמשך עם הסביבה. מרגע לידתו, האדם נתון במערכת של לחצים, דחפים וגבולות – החל מן הקונפליקט בין עקרון העונג לעקרון המציאות, ועד להתמודדות עם דרישות החברה וההורים. הנפש מתפתחת באמצעות מנגנוני הסתגלות שמטרתם לווסת את המתח בין דחפים פנימיים לבין דרישות חיצוניות. כך נבנים המבנים הפסיכולוגיים המרכזיים – האיד (הדחפים), האגו (המגשר עם המציאות), והסופר-אגו (הפנמה של נורמות מוסריות) – כולם תוצרים של אינטראקציה דינמית בין האדם לעולם שסביבו.

לעומת זאת, תורת החסידות רואה את האדם כנפש עליונה, שבוחרת להתלבש בגוף. הנפש איננה נגזרת של הגוף, אלא קודמת לו במעלה. היא בוחרת להתלבש בגוף ולהנהיגו, ותנועותיה אינן מוכתבות על ידי דחפים, אלא מבטאות חירות פנימית עמוקה. מכאן, גם התענוג והרצון אינם מותנים בגירויים חיצוניים, אלא נובעים מבפנים – כתוצאה מבחירה חופשית של הנפש לבטא את עצמה.

סיכום

תורת החסידות מציגה מודל שבו *בחירה* היא נקודת הראשית של הנפש. ממנה נולדים *התענוג* ו*הרצון*, ורק לאחר מכן מופיעים *השכל* ו*המידות*. בניגוד לגישה הפסיכולוגית הכללית, ובמיוחד לזו של פרויד, אין הנפש מופעלת מתוך דחפים אלא מתוך בחירה, תענוג ורצון.

שלושת הכוחות הללו – בחירה, תענוג ורצון – יהוו עבורנו את הבסיס ל*מרחב נפשי* שבעזרתו נוכל לתאר את התפתחות הדינמיקה של הבחירה מראשיתה בנפש עד להופעתה כהכרעה בפועל במציאות. לאורך המאמר נעמיק במבנה זה, ונראה כיצד ניתן לתרגם את תנועות הנפש במרחב הזה למונחים של הסתברות, תוך קישור למשוואות ההסתברות הקוונטית – שיאפשרו לתאר באופן מדויק את האופן שבו הבחירה מייצרת אפשרויות רבות ומכריעה כאפשרות אחת.

פרק ב' - דינמיקה של הנפש

הקדמה

כח ואנרגיה

בפרק הקודם הזכרנו שקיים דמיון בין הנפש לאור. הצבענו על תופעת ההתאבכות באור ותופעת הסטיה בנפש במצב אי-ידיעה וכן על האופי ההסתברותי של הנפש והאור. כעת נתייחס לנקודה נוספת והיא הדמיון בין התממשות הבחירה בנפש לבין התממשות של האור כחלקיק.

האדם, בתור בעל בחירה אינו רק תוצאה של מלחמת כוחות אלא הוא נושא בעצמו כח פנימי. כדי להבין את המעבר בין הכרעה רווחית להכרעה בחירית, נעזר בשלושה מושגים מעולם הפיזיקה: כח, אנרגיה ועוצמה (או צפיפות אנרגיה). אם ההכרעות האנושיות היו תוצאה של שיקולי רווחיות (כמו בתורת המשחקים) יכולנו לדמות את ההכרעה כסכום של כוחות שפועלים על מימד אחד. כאשר אנו מדמים הכרעה אנושית כתוצאה של **כוחות**, הכוונה היא למצב שבו כל אפשרות מושכת לכיוונה בהתאם לרווחיות שהיא מייצרת – בדיוק כפי שבפיזיקה גופים נעים בהתאם לסך הכוחות הפועלים עליהם. זוהי גם ההנחה הבסיסית של **תורת המשחקים** הקלאסית: כל שחקן פועל על פי פונקציית תועלת, ובוחר באסטרטגיה שתמקסם את הרווח הצפוי שלו, תוך שקלול הכוחות הפועלים עליו מצד הסביבה, השחקנים האחרים, וסיכוני ההפסד. המודל הזה מניח **רציונליות אובייקטיבית**, שבה ההעדפות וההסתברויות מוגדרות היטב מראש, והכרעה היא פעולה שממקסמת את התועלת הנתפסת. אלא שגישה זו — שממקדת את ההכרעה כאינטגרל של לחצים, שיקולים ותגמולים — **אינה מתארת את הבחירה האנושית במובנה המהותי**. בשונה מהנחות הרציונליות של תורת המשחקים, האדם אינו פועל רק מתוך מקסום רווח, אלא מתוך בחירה שתבטא את הנפש. הבחירה פועלת שבמקום להתייחס לאפשרויות כמציאויות קיימות המתנגדות אחת לשניה, כל

אפשרות הופכת להיות באמת רק 'אפשרי המציאות' ולא מציאות קיימת. כלומר היא יכולה להתקיים ויכולה גם לא, ללא תלות באפשרות השניה. ברגע שאנחנו מדברים על משהו שהוא אפשרי-פוטנציאלי אנחנו עוברים לדון על אנרגיה ולא על כח.

אנרגיה היא יכולת לעשות עבודה, כלומר, היכולת להפעיל כח לאורך דרך מסוימת (לדוגמא כח ששדה יפעיל על מטען שיכנס לשדה). נוכל לדמות את הבחירה הרווחית בתור מסלול של כדור שנע קדימה לעבר מטרה כאשר פועלים עליו שני כוחות שונים, ימינה ושמאלה. הכדור תמיד יגיע לצד של המטרה (ימין או שמאל) שאליו דחף הכח החזק יותר. לעומת זאת, הבחירה האנושית דומה לפוטון שהוא התממשות של גל אלקטרומגנטי. אם נשלח פוטון ישר לעבר מטרה יש לו הסתברות מסוימת לפגוע בצד הימני של המטרה והסתברות אחרת לפגוע בצד השמאלי שלה, הכל בהתחשב במשוואת הגל של אותו פוטון. משוואת הגל מתארת את המצב האנרגטי של הפוטון שמתנודד באופן מחזורי והוא קובע את ההסתברות להתממשות של פוטון באזור מסוים של המטרה. אזורים בעלי צפיפות אנרגיה גבוהה (או עוצמה גבוהה) יהיו בעלי הסתברות גבוה להתממשות של פוטון.

לפי זה, אין לנו דרך לנבא את ההתנהגות של בוחר אנושי, אבל נוכל לקבל הסתברות לכל התנהגות לפי העוצמה, או צפיפות האנרגיה שמייצגת אותה. כפי שנראה בהמשך, העוצמה היא פורפורציונלית לרבוע של האנרגיה ונגזרת ממנו.

הנפש כגל

לאור האמור, נרצה להשוות את החלק הלא מודע בנפש לאנרגיה עם פוטנציאל להתבטא באופן מסוים במציאות. כפי שנראה, אין הכוונה שהנפש דומה לשדה של אנרגיה סטטי, אלא לגל של אנרגיה שמשתנה באופן מחזורי. במובן הזה, הנפש דומה לחלקיק קוונטי אליו מוצמדת פונקצית גל שממנה אמנם לא ניתן לגזור מיקום או תנע מדויק אך כן ניתן לקבל הסתברות להמצאות של החלקיק באזור מסוים או במצב מסוים. בדומה לחלקיק הקוונטי גם בנפש, לא נוכל לענות על השאלה כיצד בפועל הנפש תבחר לממש את עצמה ולהתבטא במציאות במדויק, אך כן נוכל לתת תשובה הסתברותית. כלומר, לנפש יש פונקציה, אותה נכנה פונקצית הגל של הנפש, שלא מתארת משהו מציאותי אבל ניתן לגזור ממנה מידע הסתברותי. מכיון שפונקצית גל היא בעלת אופי מחזורי (כפי שניכר בטבע של גלים בכלל), לכן כדי להסביר מדוע לדעתנו ניתן לתאר את הנפש באמצעות פונקצית גל, ננסה להסביר בפרקים הבאים איך בחירה יוצרת מחזוריות בתוך הנפש.

תנועה הרמונית

משל המטוטלת

כאשר אדם פוגש דבר מה במציאות ומתאווה אליו, באופן טבעי הוא מרגיש שמופעל עליו כח שמושך אותו אל אותו דבר. אמנם, ככל שהאדם מודע יותר לכח הבחירה שבו, הוא פחות נוטה להמשך ישר אל הדבר, אלא מתעוררת בו התנגדות מסוימת שמונעת ממנו להסחף בעל כרחו אל אותה תאווה.

כדי להמחיש את הכוחות המנוגדים שפועלים בנפש, נעזר במשל שמביא רבי יצחק אייזיק מהומיל בספרו חנה אריאל. רבי אייזיק מצטט את הגמרא ב??, המספרת על כך שאמו של האמורא רבא היתה קונה לילדיה כלי חרס ישנים בתור משחק, על דעת כך שישברו אותם. רבי אייזיק מסביר שהטעם לשבירת כלי החרס בידי הילדים, נטוע במתח שיוצר המשחק אצל הילד. מצד אחד, הילד מאוד רוצה את המשחק ומרגיש שהמשחק מושך אותו חזק. מצד שני, כאשר הילד מרגיש שהמשחק 'משתלט עליו' הוא נהנה 'להשתלט חזרה' על המשחק ולשבור אותו. כלומר, יש כאן שתי התנהגויות הפוכות ושתי הנאות הפוכות: אחת של המשכות אל המשחק, והשניה דחיה של המשחק.

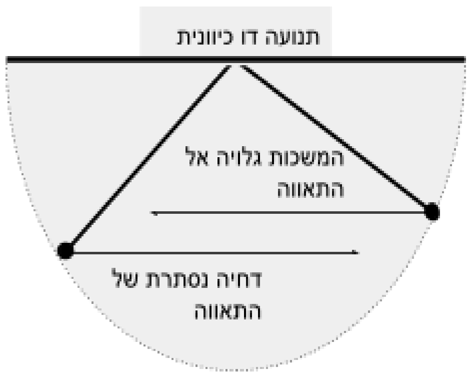
המשל של רבי אייזיק, ממחיש את הכוחות הסותרים בנפש, ואת הופעתם המפתיעה אצל ילדים. כוחות אלו קיימים גם אצל מבוגרים, אלא שאצלם הכוחות בדרך כלל מווסתים ואינם מביאים לידי שבירה. מסיבה זו קשה למבוגרים להבין מדוע ילדים שוברים את המשחקים אותם הם כל כך רוצים.

למעשה, כאשר אדם מתבגר הוא מצליח לווסת בין שני הכוחות הסותרים וליצור אצלו בנפש מעין תנועה הרמונית. תנועה זו נגזרת מכך שההתנגדות להסחפות תלך ותגדל ככל שהוא מרגיש שהוא מנוהל על ידי התאווה במקום שהיא תשרת אותו. התנגדות זו תביא לכך שבשלב מסוים הוא יתחיל ממש לדחות את התאווה ולהנות להשתחרר ממנה. ברם, ברגע שהוא ירגיש שהתאווה כבר לא מכריחה אותו, התאווה תשוב להנות אותו והוא ימשך שוב אליה וחוזר חלילה.

נוכל להמשיל תהליך זה לתנועה הרמונית של מטוטלת. המטוטלת מתחילה את תנועתה כאשר החוט במצב אופקי והמשקולת ממוקמת לצד ציר המטוטלת, מימין. המשקולת תנוע

לאורך מסלול חצי מעגלי, כאשר בתחלה היא תנוע בתאוצה מטה ושמאלה עד שהחוט יהיה במצב אנכי. בנקודה זו המשקולת תתחיל לנוע כלפי מעלה לאורך המשך אותו מסלול, ותאט עד כדי עצירה מוחלטת כאשר החוט שוב במצב אופקי אך המשקולת עתה משמאל לציר המטוטלת. מנקודה זו היא שוב תתחיל להאיץ כלפי מטה אך הפעם לכיוון ימין, וחוזר חלילה.

התופעה המחזורית שתארנו בנפש, נמצאת ברובד פנימי בנפש. בדרך כלל, אנו שמים לב רק להכרעה שאנחנו מקבלים בפועל (להמשך או לא להמשך לתאווה) ואז אנו מקבלים ציור של תנועה חד-כיוונית בנפש (כיוון ההכרעה). אמנם, אם נעמיק מעט נשים לב שבגלל היותנו בעלי בחירה, ישנו שלב מקדים להכרעה בו מתגלה הבחירה החופשית. בשלב ובמקום נפשי זה, שני הרצונות (להמשך ולא להמשך) באים לידי ביטוי במעין 'תנועה הרמונית', הדומה לתנועת מטוטלת. נעיר שכאמור, גם אצל הילד קיימת תנועה בשני כיוונים הפוכים, המשכות אל המשחק ודחיה שלו, אך תנועה זו אינה הרמונית. התנועה של הילד מורכבת משתי תנועות נפרדות והפוכות שהרי כאשר הוא חפץ במשחק הוא אינו מעונין לשבור אותו, ואילו כאשר הוא שובר את המשחק הוא לא חושב על כך שהוא ירצה אותו בהמשך.



משל הקפיץ

כדי להעמיק בנמשל הנפשי, נעזר במשל פיזיקלי נוסף, משל הקפיץ. כמו המטוטלת, גם הקפיץ נע בתנועה הרמונית (מחזורית), אך בניגוד למטוטלת, בקפיץ ניתן להבחין בין שני מצבי קצה: מצב מכווץ ומצב מתוח. תנועת הקפיץ מתחילה בהסתה של הקפיץ ממצבו הרפוי הראשוני שלו, לאחד ממצבי הקצה, נאמר מצב מתוח. הכח המחזיר של הקפיץ ישאף להחזיר את הקפיץ למצב רפוי ולשם כך יפעיל כח שיכווץ את הקפיץ. בגלל האנרגיה שנצברה בקפיץ בעת המתיחה, כאשר הקפיץ ישוחרר הוא לא יחזור למצב הרפוי אלא יעבור דרכו ויגיע למצב מכווץ. במצב זה הכח המחזיר שוב יפעל, אך הפעם הוא ימתח את הקפיץ וחוזר חלילה.

אם נחזור כעת לנמשל הנפשי, המעבר בין המצב המתוח של הקפיץ למצב המכווץ ידמה לדחיה של התאווה, ואילו המעבר חזרה ממצב מכווץ למצב מתוח ידמה להסחפות אל התאווה. המצב המתוח בקפיץ מקביל בנפש לתחושה שהאדם נתון כולו בתאווה ואילו המצב המכווץ בקפיץ מקביל בנפש לתחושה שהאדם אינו נזקק כלל לתאווה.

מהירות בתנועה הרמונית

עד כה, הבחנו בין הקצוות השונים ובכיוונים השונים שיש בתנועה ההרמונית, ולמחזוריות שקיימת ביניהם. כעת נשים לב, למהירות של התנועה ולמחזוריות שקיימת בה. אם ננתח את התנועה של המשקולת במטוטלת, נוכל להראות כי מהירותה של המשקולת יחסית לציר ה-x (מימין לשמאל) שקולה למיקומה יחסית לציר ה-y (מלמעלה למטה). יחס זה מובן באופן אינטואיטיבי. כאשר המשקולת בירידה המהירות גדלה ומגיעה לשיא רגע לפני שהיא מתחילה לעלות, וכאשר היא עולה היא מאטת עד שהיא נעצרת ומשנה כיוון, וחוזר חלילה. אם כן, המהירות עולה ויורדת במחזוריות הפוכה ממיקום המשקולת על ציר ה-y. למעשה, אותה מחזוריות במהירות קיימת גם בקפיץ. כאשר הקפיץ מתכווץ ממצב מתוח הוא מאיץ עד שהוא מגיע למצב רפוי, ואז מאט עד שנעצר ומשנה כיוון. כמו כן, כאשר הוא נמתח הוא מאיץ עד למצב הרפוי ואז מאט עד שנעצר במצב המתוח ומשנה כיוון, וחוזר חלילה.

נשים לב, שבשני התאורים, הן של המטוטלת והן של הקפיץ, מהירות השיא היא באמצע הדרך. בנמשל של הנפש, נקודה זו ממחישה כי שיא ההסחפות אל התאווה היא 'באמצע הדרך'. כלומר, הנפש לא רק חווה את הקצוות של המחזוריות, שקיעה בתאווה או שחרור מוחלט ממנה, אלא יש לה גם חוויה חזקה של הסחפות בנקודת האמצע של המחזוריות.

כאשר האדם נסחף אל התאווה הוא מרגיש שהנפש שלו ממש רצה אל התאווה ומתמלאת בהמון חיות. כל זה נכון ופשוט בהסחפות הגלויה אל התאווה, אמנם, נשאלת השאלה, מהי אותה מרוצה בכיוון הנסתר של דחית התאוה?

על מנת לענות על שאלה זו, נזכר שוב במשל של הילד והמשחק. כמו שיש לילד המון חיות כאשר הוא נסחף על ידי המשחק, ככה יש לו המון חיות בשבירת המשחק. כעת נשים לב, שגם אצל אדם מבוגר יש המון חיות ביכולת הויסות שלו לדחות את התאווה (בלי לשבור אותה בפועל). הרצון לא להיות נשלט על ידי התאווה, או במילים אחרות, הרצון כמבטא את המשכות רצונית של הנפש (ולא כהכרחה שלה) מלא בחיות כשם שההסחפות לתאווה מלאה בחיות.

תנועה מחזורית כמעגל

נסכם את ארבע נקודות השיא במחזוריות של המטוטלת, הקפיץ והנפש:

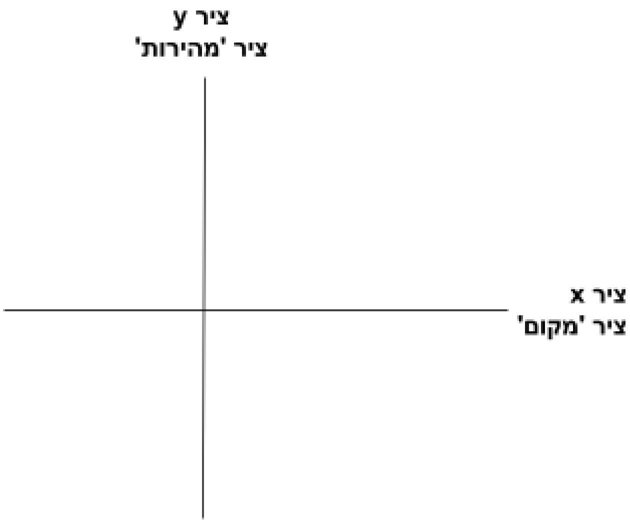
א. נקודת השחרור של המטוטלת - הקפיץ במצב מתוח - האדם תפוס בתאווה (הילד שקוע במשחק)

ב. נקודת שיא המהירות בכיוון א' - הקפיץ מתכווץ - האדם דוחה את התאווה (הילד מתחיל למאוס במשחק)

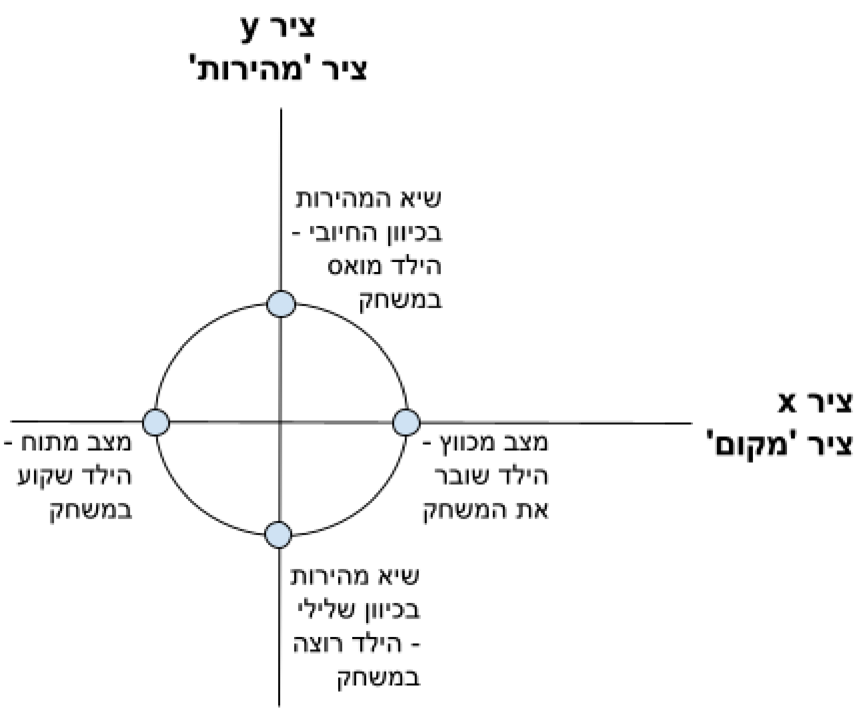
ג. נקודת העצירה של המטוטלת - הקפיץ במצב מכווץ - האדם שלם עם עצמו ומשוחרר מהתאווה (הילד שובר את המשחק)

ד. נקודת שיא המהירות בכיוון ב' - הקפיץ נמתח - האדם נסחף אל התאווה (הילד רוצה את המשחק)

במטוטלת כמו גם בקפיץ, נקודות העצירה (א' וג') נמצאות במקומות פיזיים שונים (בקצוות התנועה) אך שיאי המהירות (ב' וד') נמצאות באותו מקום פיזי, אך כיוון התנועה בהם הפוך. כדי לתת ביטוי להבדל בכיוון התנועה שבשיאים הנ"ל, נסדר את ארבע הנקודות על שני צירים מאונכים, כך שכיוון המהירות יבוא לידי ביטוי במיקום על ציר משלו:



למעשה, הציר האנכי בתרשים מורה על מהירות המטוטלת והקפיץ, בעוד הציר האופקי מורה על מיקום המטוטלת והקפיץ. כפי שהערנו בקשר למטוטלת, המהירות פורפורציונלית לגובה המטוטלת ולכן נוכל להסיק ממסלול המטוטלת, שאם נסמן על הצירים את המהירות ביחס למיקום, נקבל ציור של שני חצאי מעגל (בדומה למסלול המטוטלת הלוך ושוב) שמשלימים למעגל שלם:



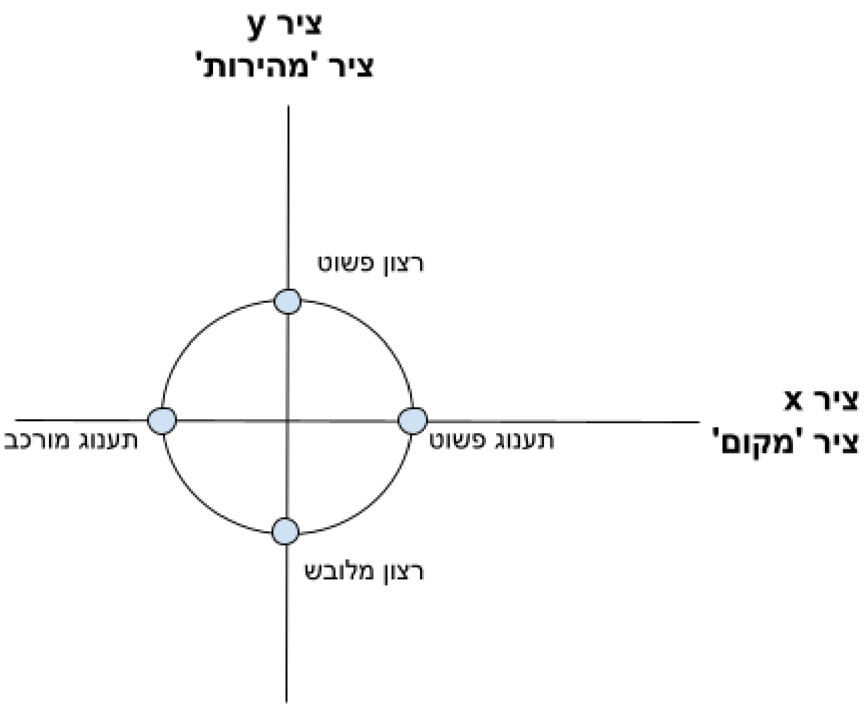
המעגל ששרטטנו לעיל נועד לעזור לנו להבין את הנמשל הנפשי. לפי ההקבלה שבנינו, המעגל מתאר את הדינמיקה בתוך הנפש במעבר בין ארבע הקצוות או השיאים שמנינו לעיל. כדי לצייר טוב יותר את הדנימיקה בנפש נרצה לתת כותרות לארבע השיאים או הקצוות שמנינו לעיל, ולשם כך נעזר במושגים הלקוחים מתורת החסידות:

א. "תענוג מורכב" (קפיץ מתוח) - האדם תפוס בתאווה, כלומר התענוג של האדם מורכב משני דברים, האדם עצמו ומשהו חיצוני שמענג אותו.

ב. "רצון פשוט" (שיא המהירות בהתכווצות) - האדם דוחה את התאווה הלא רצונית בתור ביטוי לרצונו הבסיסי שכל שרצונותיו יהיו רצוניים ולא מוכרחים. הרצון הפשוט מכונה לעתים בכתבי החסידות גם 'רצון הרצונות' (או בארמית 'רעוא דרעוין'), שכן הוא רצון כללי שמתלבש ברצונות פרטיים.

ג. "תענוג פשוט" (קפיץ מכווץ) - האדם משוחרר מהתאווה ומתענג תענוג פשוט מעצמו.

ד. "רצון מלובש (הסחפות)" (שיא המהירות בהמתחות) - האדם נסחף אל התאווה מתוך רצון להשיג אותה.



אם נתבונן בתרשים לעיל, נוכל לשים לב לכמה נקודות משמעותיות. ראשית, התענוג והרצון נמצאים על צירים נפרדים, בלתי תלויים בנפש. הסיבה לכך היא שבעוד שהסחפות סותרת את הרצון הפשוט (ולכן נמצאים בקצוות אותו ציר), שניהם אינם סותרים לא את חוית התענוג הפשוט בנפש ולא את התענוג המורכב. כמו כן, התענוג הפשוט הפוך מהתענוג המורכב (ולכן

נמצאים בקצוות אותו ציר), אך שניהם אינן הפוכים לא להסחפות ולא לרצון פשוט. כלומר, כל קצה של תענוג (פשוט או מורכב) יכול לשאת את שני קצות הרצון, וכן להפך.
עוד נעיר, כי ניתן לראות שבשיאים של התענוג הרצונות מתאפסים, כלומר, אין חויה של רצון. בדומה לכך, השיאים של הרצון, נמצאים בנקודה אפס על ציר התענוג. כלומר, בשיא חוית הרצון כל החיות נמצאת דווקא ברצון ואין כלל חוית תענוג בנפש.

אנרגיה קינטית ואנרגיה פוטנציאלית

מחזוריות נוספת קיימת גם באנרגיה שבמטוטלת. בשיא הגובה, לפני שהמשקולת מתחילה לנוע, למטוטלת יש רק אנרגיה פוטנציאלית ואין לה אנרגיה קינטית (אנרגית תנועה). האנרגיה הפוטנציאלית היא היכולת של כח הכבידה להניע את המשקולת, וככל שהמשקולת גבוהה יותר, כך כח הכבידה יכול להניע אותה יותר. כשהמטוטלת מתחילה לרדת ולנועה שמאלה, חלק מהאנרגיה הפוטנציאלית מתורגמת לאנרגיה קינטית, עד שבתחתית מסלול המטוטלת (בשיא המהירות) כל האנרגיה הפוטנציאלית הופכת לאנרגיה קינטית. אמנם, כאשר המשקולת תתחיל שוב לעלות, לצבור גובה ולאבד מהירות, האנרגיה הקינטית תשוב ותהפוך לאנרגיה פוטנציאלית וחוזר חלילה. באופן אנלוגי, האנרגיה הפוטנציאלית בקפיץ היא היכולת של הכח האלסטי של הקפיץ להניע את הקפיץ והוא מצטבר בקפיץ ככל שמעוותים את הקפיץ יותר (על ידי כיווץ או מתיחה). אנרגיה זו מתורגמת לאנרגיה קינטית כאשר הקפיץ משתחרר ומתחיל לנוע והופך כולו לאנרגיה קינטית כאשר הקפיץ נמצא במצב רפוי (כלומר, כאשר הוא חוזר לאורכו המקורי לפני שהתעוות). כאשר הקפיץ מאט ומתכווץ האנרגיה הקינטית שוב הופכת לאנרגיה פוטנציאלית וחוזר חלילה.
בנמשל של הנפש, נדמה את האנרגיה לחיות בנפש. אם נחזור לילד ולמשחק, הילד חווה המון חיות כאשר הוא תפוס במשחק אך לא פחות מכך כאשר הוא שובר את המשחק. חיות זו, היא חיות מתענוג (מהמשחק או משבירתו) והיא מקבילה למושג של אנרגיה פוטנציאלית שכן היא יכולה להניע את האדם, כפי שראינו בתאור של הדינמיקה של הנפש. לעומת זאת, אחרי שהילד שובר את המשחק שוכח מהתענוג שבשבירת המשחק וחוזר לרצות משחק חדש, בשיא הרצון וההשתוקקות למשחק החדש, הוא יחווה המון חיות של רצון ללא תענוג. כמו כן, כאשר הילד מתוסכל מהמשחק ומאוד רוצה לשבור אותו, כבר אין לו תענוג מהמשחק והרצון החזק לשבור אותו ממלא אותו בחיות. חיות זו היא חיות של רצון, והיא דומה למושג אנרגיה קינטית.

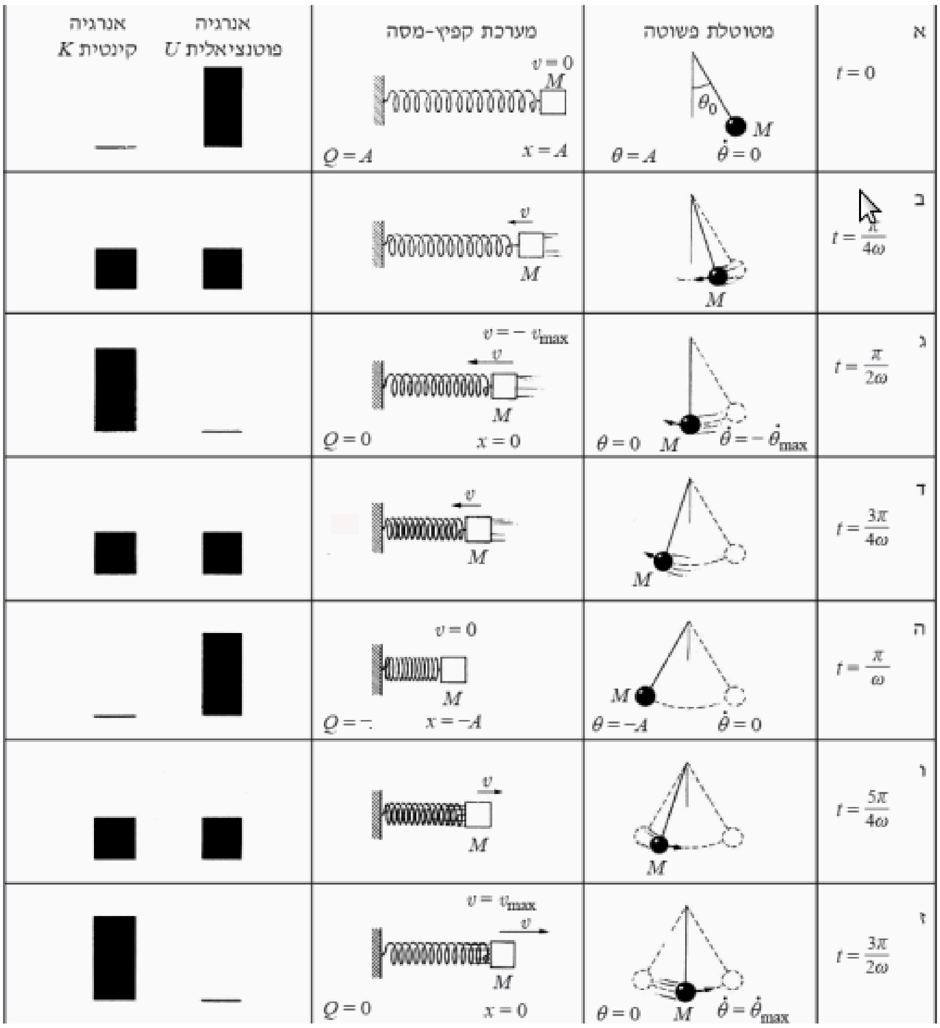
אצל מבוגר שיודע לווסת את הרצונות הסותרים וליצור תנועה מחזורית בנפש, כנ"ל, קיים מחזור בלתי פוסק בין מצבי האנרגיה השונים כל משך התנועה:

א. קפיץ מתוח - תענוג מורכב - אנרגיה: פוטנציאלית 1 \ קינטית 0 - חיות מהענוג שבתאווה.

ב. קפיץ מתכווץ - רצון פשוט - אנרגיה: פוטנציאלית 0 \ קינטית 1 - חיות מדחית התאווה.

ג. קפיץ מכווץ - תענוג פשוט - אנרגיה: פוטנציאלית 1 \ קינטית 0 - חיות האדם מעצמו.

ד. קפיץ נמתח - רצון מלובש (הסחפות) - אנרגיה: פוטנציאלית 0 \ קינטית 1 - חיות מהסחפות ע"י התאווה.



הרצון מורה על מרוצת הנפש, כלומר כמה 'מהר' או באיזו עוצמה הנפש נמשכת ומתפשטת אל הדבר אליה היא מתאווה. לפי זה, הרצון לרצות, מורה על כמה רצון זה הולך ומתגבר כלומר כמה הנפש 'מאיצה' את ההתפשטות שלה. ככל שהאדם רוצה יותר את הרצון, הרצון יגדל יותר. כפי שראינו, הרצון מלא בחיות (אנרגיה קינטית), והאדם מחפש לא רק את המנוחה שיש בתענוג אלא גם את החיות שיש במרוצת הרצון. לפי זה, לעתים השאיפה אל המנוחה שבתענוג מהווה רק אמצעי להשיג את החיות של הרצון.

אם כן, בשלב הראשון התענוג המורכב משמש אמצעי לעורר את הרצון, כך שבנפש יש המון רצון לרצון, כלומר חויה של רצון שהולך וגדל. אם נחזור למשל המטוטלת, בשלב הראשון המשקולת מאיצה בירידה והתאוצה שלה באותו כיוון של המהירות. הרצון לרצון והרצון לתאווה שניהם פועלים באותו כיוון. אמנם, ככל שהנפש מתמלאת בחיות מהרצון, הרצון לרצון נחלש והאדם מתחיל אכן לחפש את המנוחה שבתענוג כתכלית ולא כאמצעי.

בשלב זה, האדם עדיין רוצה את התאווה אך הוא אינו רוצה לרצות את התאווה, אלא רוצה את המנוחה שיש בתענוג. במשל המטוטלת זהו שלב ההאטה, כלומר הרצון לתענוג אינו תאוצה אלא תאוטה.

מנוחה ומרוצה

כעת נעזר במשל המטוטלת כדי לנתח את השינוי ברצון בנפש. בתחלת התנועה המטוטלת נמצאת במנוחה (מהירות אפס) אבל היא נמצאת בשיא התאוצה. כמו כן, בסוף התנועה לפני שהמטוטלת משנה כיוון, היא נמצאת בשיא התאוטה. בנפש המשמעות היא שהעונג הוא לא רק מקום מנוחת הנפש אלא גם מקום שיש בו שיא השינוי ברצון (רצון לרצון או רצון לתענוג). באמצע המסלול, המטוטלת נמצאת בשיא המהירות אבל בנקודה זו התאוצה מתאפסת ומתהפכת לתאוטה. בנפש נאמר, שדווקא בנקודת שיא הרצון (ההסחפות או התנגדות להסחפות) שם האדם מפסיק לרצות את הרצון ומתחיל לרצות את התענוג והמנוחה. לסיכום, בקצוות המטוטלת יש גם מנוחה אבל גם שיא שינוי המהירות ואילו באמצע יש את שיא המהירות אבל היא לא משתנה.

תאוצה כח ואנרגיה

לפי הכלל השני של ניוטון, כח הוא פרופורציונלי לתאוצה והוא מקור התאוצה. בתנועה הרמונית, כמו זו של קפיץ, הכח מכונה כח מחזיר שכן הוא פועל להחזיר את הקפיץ למצב רפוי, מצב של איזון. למעשה, ההגדרה של מתנד הרמוני הוא "מערכת מכנית שבה פועל על גוף נתון כח מתכונתי (יחסי) להעתק הגוף ובכיוון מנוגד לו". המשמעות הפשוטה של הדברים היא, שככל שהקפיץ מתוח יותר הוא יפעיל יותר כח לכווץ את עצמו וככל שהוא מכווץ יותר הוא יפעיל יותר כח להמתח. כאמור, כח זה פרופורציונלי לתאוצה, וכאמור שיא התאוצה היא דווקא בשיא המתיחה או הכיווץ (ובמטוטלת בקצוות של מסלול המטוטלת).
כמו כן, במכניקה, אנרגיה היא הפוטנציאל לעשות עבודה, שהיא הצטברות הכח שמופעל לאורך דרך. כדי לצבור אנרגיה פוטנציאלית בקפיץ יש למתוח או לכווץ אותו לאורך דרך מסוימת. פעולת הכיווץ (או המתיחה) נעשות על ידי הפעלת כח, שגודלו כאמור הוא ביחס למקום. ככל שהכווץ או המתיחה של הקפיץ גדולה יותר (ביחס למצב הרפוי שלו) ככה הוא נושא יותר אנרגיה.
בהקבלה לנפש, האנרגיה הפוטנציאלית גדלה ככל שהתענוג גדול יותר והיא משקפת את החיות שיש בתענוג, חיות שמתהפכת לרצון. בשלב מסוים הרצון מתעצם כל כך עד שכל חוית החיות בנפש נתונה ברצון (בהסחפות או בהתנגדות לה) ואין חיות בתענוג. מצב זה מקביל למעבר מאנרגיה פוטנציאלית לאנרגיה קינטית, אנרגיה שעצורה במהירות.

סיכום משל הקפיץ

נסכם את המושגים ואת השלבים השונים שבמשל הקפיץ, וכן את הנמשל הנפשי שעולה מהם:

מצב	מיקום הקצה	מהירות	כח\תאוצה\טה	אנרגיה פוטנ'	אנרגיה קינט'
רפוי ראשוני	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**
מתוח א'	1 -	0	תאוצה 1	1	0
מתכווץ א'	שורש 0.5 -	שורש 0.5	תאוצה שורש 0.5	0.5	0.5

רפוי א'	0	1	0	0	1
מתכווץ ב'	שורש 0.5	שורש 0.5	תאוטה שורש 0.5	0.5	0.5
מכווץ	1	0	תאוצה/טה 1	1	0
מתמתח א'	שורש 0.5	שורש 0.5 -	תאוצה שורש 0.5	0.5	0.5
רפוי ב'	0	- 1	0	0	1
מתמתח ב'	שורש 0.5 -	שורש 0.5 -	תאוטה שורש 0.5	0.5	0.5
מתוח ב'	- 1	0	תאוטה/צה 1	1	0

א. <u>**מיקום קצה הקפיץ**</u> **- התענוג בנפש.** נע בין תענוג מורכב (1-) כאשר האדם מתענג ממציאות חיצונית אליו, לבין תענוג פשוט (1), כאשר האדם שלם עם עצמו ומתענג מעצמו.

ב. <u>**מהירות**</u> **- הרצון בנפש.** נע בין רצון פשוט (1-) של הנפש המתבטא ברצון שהכל יהיה רצוני בלי מחויבות ותלות בציור מציאותי מסוים, לבין רצון ממשי שסוחף את האדם (1). בחסידות מבואר כי רצון הוא מלשון מרוצה, לכן הרצון הוא למעשה חווית הריצה בין קצוות התענוג. יש ריצה הנחווית כהסחפות ויש ריצה הנחווית כדחיה של הסחפות ותלות, וגילוי של רצון שהכל יהיה רצוני.

ג. <u>**תאוצה**</u> **- הרצון לרצון בנפש.** הרצון (פשוט או מלובש) הולך וגדל בהתאם לרצון לרצון, הרצון בנפש לחיות שיש ברצון.

ד. <u>**תאוטה**</u> **- הרצון לתענוג בנפש.** הרצון (פשוט או מלובש) הולך וקטן בהתאם לרצון לתענוג שמשקף את הרצון דווקא במנוחה ולא במרוצה שמתחוללת בנפש.

ה. <u>**אנרגיה פוטנציאלית**</u> **- חווית החיות שנגזרת מעוצמת התענוג בנפש**. חיות זו מסוגלת להניע את הנפש ולהוליד רצון בנפש.

ו. <u>**אנרגיה קינטית**</u> **- חווית החיות שנגזרת מעוצמת הרצון בנפש**. חיות זו היא חויה של מהירות ומרוצת הנפש.

כעת נפרט את השלבים השונים בתנועה ההרמונית של הקפיץ, ונבאר את המצב הנפשי המקביל לו:

א. **מצב רפוי ראשוני -**
אם נדמה את הנפש לקפיץ, אז מצב הקפיץ לפני המתיחה הראשונית דומה לזה של הנפש לפני שהיא מודעת לתאווה.

ב. **מתוח א' -**
בשלב זה הקפיץ בשיא אורכו, הוא לא נע וכל האנרגיה שלו היא פוטנציאלית. מצד שני, בנקודה זו המנוחה מתהפכת לתנועה שמתחילה ממהירות אפס אך התאוצה היא בשיא. בנמשל, הנפש חווה במצב זה שיא של תענוג מורכב, כלומר, מצד אחד היא מציירת מיצוי של עצמה בתוך המציאות אבל מצד שני גם מתעורר בה רצון פשוט שהתאווה לא תכריח אותה אלא תהיה רצונית. בגלל שהיא תפוסה חזק בתאווה הרצון לרצון הפשוט הנ"ל הוא בשיא העוצמה.

ג. **מתכווץ א' -**
מנקודת שיא המתיחות הקפיץ מתחיל להתכווץ. בכרבע הדרך למצב הרפוי הקפיץ מאיץ וצובר מהירות, וחצי מהאנרגיה הפוטנציאלית של הקפיץ הופכת לאנרגיה קינטית. בנמשל הנפשי, הרצון נובע משאיפה לתענוג פשוט שמתבטא ברצון פשוט שלא מכריח את האדם. יחד עם זאת, בשלב זה השאיפה לתענוג הפשוט משמש גם אמצעי לחוית המרוצה והשחרור מהתאווה, לכן יש כאן למעשה רצון לרצון.

ד. **רפוי א' -**
בשלב זה, קצה הקפיץ חוזר לנקודת האפס, מהירותו בשיא וכל האנרגיה היא אנרגיה קינטית. כמו כן, התאוצה בנקודה זו מתאפסת ואז הופכת לתאוטה. בנפש, מצב זה מתאר

את שיא הדחיה של ההסחפות כאשר כל החיות היא מחוית המרוצה והשחרור של הנפש. בשלב זה הנפש, משתחררת מהתלות שלה במציאות ולכן גם התנועה שלה מתחילה להאט. הנפש מתחילה לרצות את המנוחה שבתענוג ולא את המרוצה שברצון, לכן הרצון לאי-תלות נחלש. בנקודה זו האדם לא מרגיש שיש לו תענוג מהמציאות, אבל גם עדיין לא מרגיש את העונג הפשוט הפנימי שלו מעצמו.

ה. **מתכווץ ב' -**

בשלב זה הקפיץ עדיין לא לגמרי מכווץ והוא עדיין בתנועה, אם כי בהאטה. בנפש, מצב זה משקף קיטון ברצון הפשוט. בנפש, ההאטה תתפרש כרצון לתענוג ולמנוחה שמחליש את הרצון הפשוט.

ו. **מצב מכווץ -**

במצב זה, קצה הקפיץ נמצא במיקום 1, הקפיץ לא נע ויש בו מקסימום אנרגיה פוטנציאלית. במצב זה הנפש מלאה בחיות שנובעת מהתענוג העצמי בנפש, חיות שתניע את הנפש שוב לרצות להתממש.

ז. **מתמתח א' -**

ברגע שהקפיץ מתחיל להתמתח, מתחילה תנועה. בערך ברבע מהדרך למצב הרפוי, חצי מהאנרגיה הפוטנציאלית הופכת לקינטית והכח יורד בכרבע. בנפש, במצב זה ההסחפות במגמת עליה והאדם רוצה בהסחפות ועל כן היא גדלה.

ח. **רפוי ב' -**

כשהקפיץ חוזר למצב הרפוי, הוא שוב בשיא המהירות אך בכיוון השלילי ויש לו רק אנרגיה קינטית. בנפש, המשמעות היא שהאדם נמצא בשיא ההסחפות אל התענוג המורכב ולכן הוא גם מלא בחיות מחוית ההסחפות.

ט. **מתמתח ב' -**

כאשר נקודת הקצה תעבור את המצב הרפוי של הקפיץ היא תתחיל להאט, האנרגיה הקינטית תקטן והאנרגיה הפוטנציאלית תגדל עד שהקפיץ יגיע לשיא המתיחה ונקודת הקצה תפסיק לנוע. בנפש, שלב ההאטה מקביל לתהליך שבו האדם מרגיש שהרצון להתממש הוא לא רצוני מצידו שכן הוא רוצה דווקא במנוחה שבתענוג ולכן הוא מעצמו מאט את ההסחפות.

י. **מתוח ב' -**

בשלב זה הקפיץ חוזר למצב כמו במתוח א' אלא שכאן הוא מחליף מתנועה בשיא התאוטה לעצירה ושיא תאוצה חזרה לכיוון נקודת שיווי המשקל (מצב רפוי). בנקודה זו כל האנרגיה בקפיץ היא פוטנציאלית. בנפש משמעות הדבר היא שלמרות שהאדם נתון בתענוג המורכב הוא מרגיש שהוא לא באמת מיצה אותו שכן אם היה מיצוי אז התנועה היתה נגמרת. לכן, המשל לכך היא אנרגיה פוטנציאלית שכן החוויה של אי-המיצוי מהווה עבורו מקור שמסוגל להניע אותו שוב ושוב בתנועה מחזורית.

תענוג פנימי וחיצוני

הבאנו את משל המטוטלת כדי להסביר ולהמחיש את התנועה המחזורית הנסתרת בנפש. בדרך כלל כשאנו נמשכים לאיזו תאווה, אנחנו לא מרגישים שיש כאן תנועה מחזורית אלא שמים לב רק לרצון הגלוי של המשיכה. החויה הרגילה שלנו היא שהרצון שלנו נובע מהתענוג החיצוני שמושך אותנו והרצון נעלם ברגע שהתענוג מתמצה. גם במשל הילד של ר' אייזיק הרצון מושך את הילד עד כדי מיצוי התענוג, אך המשל גם חושף שיש בנפש שני רצונות הפוכים: להתפס בתאווה ולהשתחרר ממנה. משל המטוטלת לעומת זאת, ממחיש כיצד שני הרצונות מאזנים אחד את השני ולכן 'אדם מאוזן' מסוגל להשתעשע במשחק באופן רצוני, מבלי לשבור אותו.
חשוב לשים לב, שהתפיסה הרגילה של המשכות לתאווה נובעת מציור של התאווה כמשהו חיצוני לנפש והנפש נמשכת למציאות שחיצונית לה. לעומת זאת, הציור שציירנו בפרק זה מבוסס על כך שהנפש רוצה לבטא את עצמה וגם המשכות לתאווה היא חלק מהבחירה שלה ומהדרך בה היא מבטאת את עצמה. כאשר יש משהו חיצוני שהנפש נמשכת אליה, הנפש למעשה מכניסה או משקפת את הדבר החיצוני בתוכה מה שמייצר מרחב נפשי שנמתח בין שני קצוות של תענוג: תענוג פשוט ותענוג מורכב. כפי שתארנו לעיל, הנפש נעה, או מתפשטת, בתוך מרחב זה באופן מחזורי בין שני קצוות התענוג. תנועה מחזורית זו של הנפש היא ביטוי רצוני שלה המונע על ידי בחירה פנימית של הנפש.

בחירה ועבודה

קיים קשר מהותי בין שימור האנרגיה לתנועה המחזורית בקפיץ בכך ששימור האנרגיה הכוללת במערכת מבטיח שהתנועה תישאר מחזורית. האנרגיה הפוטנציאלית והקינטית מתחלפות זו בזו באופן מחזורי, והסכום שלהן נשאר קבוע, מה שמאפשר לגוף להמשיך בתנועה מחזורית אינסופית בתנאים אידיאליים (ללא חיכוך). אך מהיכן הגיע אנרגיה לתוך המערכת מלכתחילה? האנרגיה שנאגרת בקפיץ מגיע ממקור חיצוני למערכת שמסיט את הקפיץ ממצבו הרפוי (מצב של שיווי משקל) על ידי ביצוע עבודה על הקפיץ, כלומר הפעלת כח שמכווץ (או מותח) את הקפיץ במדת אורך מסוימת.

תוצאה של משפט שקילות האנרגיה והעבודה הוא, שכמות האנרגיה הפוטנציאלית בקפיץ תהיה שווה לעבודה שנדרשה כדי לכווץ אותו:

$$\Delta E = W$$

העבודה שנדרשת לכווץ את הקפיץ מרחק x הוא:

$$W = \frac{1}{2}kx^2$$

(חצי מכפלת קבוע הקפיץ - k - במרחק ברבוע)

כלומר, העבודה הנדרשת לכווץ את הקפיץ מרחק x פרופורציונלית ל-x^2.

לדוגמא, כדי לכווץ את הקפיץ חצי דרך נדרשת רבע מהאנרגיה הנדרשת לכווץ את כל הקפיץ, וכדי לכווץ אותו שליש דרך נדרשת תשיעית מהאנרגיה הכוללת. אם נשוב להתייחס לקפיץ כמשל, נוכל לומר שכל המחזוריות שקיימת במערכת של הקפיץ נובעת מהבחירה של האדם כמה לכווץ את הקפיץ (x), כאשר הוא לוקח בחשבון את כמות העבודה שתדרש (או האנרגיה שעליו יהיה להשקיע) לשם כך ($\frac{1}{2}kx^2$).

בהקבלה לנמשל הנפשי, המחזוריות בתענוג וברצון נובעת מבחירתו של האדם. הבחירה היא כמו אנרגיה שמגיעה מחוץ למערכת, המתבטאת בגודל המשרעת של הקפיץ. המתיחה של הקפיץ לא רק מכניסה אנרגיה לתוכו אלא גם יוצרת את אורכו. בנמשל הנפשי, המשמעות היא שהאדם בוחר כמה לתלות את התענוג שלו במשהו חיצוני. ככל שהוא מכניס יותר אנרגיה למערכת, כך המשרעת גדלה, כלומר יש מרחק רב יותר בין התענוג הפשוט לתענוג המורכב. במילים אחרות, האדם מרגיש שהתענוג רחוק ממנו יותר וכי הוא תלוי יותר במשהו חיצוני. כמות האנרגיה שהאדם מכניס למערכת משקפת את מידת תלותו בתענוג חיצוני.

כדי להבין טוב יותר את הקשר בין בחירה לתענוג ורצון נתבונן בקשר בין אנרגיה לעבודה. לעיל הקבלנו את האנרגיה שנכנסת למערכת לכח הבחירה בנפש. אנרגיה זו שקולה לעבודה שנעשית על הקפיץ בעת כיווצו וכן לעבודה שנעשית על ידי הקפיץ ברגע שישוחרר. מכיון

שלפי המשפט השני של ניוטון, כח שווה למכפלת התאוצה במסה, עוצמת הכח שיפעיל הקפיץ כאשר ישוחרר, תהיה פורפורציונלית לתאוצת הקפיץ. לכן, בהשוואה למושגי הנפש עוצמת הכח שיפעיל הקפיץ תקביל לעוצמת 'הרצון לרצון' בנפש. כמו כן, אורך הדרך בה מופעל הכח (כלומר אורך הקפיץ המתכווץ) משקף כמה תלות יש לנפש בדבר החיצוני שהוא רוצה. מכיון שעבודה היא מכפלת הכח המופעל באורך דרך, נוכל לומר שאם האנרגיה היא כמו הבחירה של האדם אז הבטוי שלה הוא במכפלת הכח לאורך הדרך, או במושגים של הנפש, הבחירה מביאה את עצמה לידי ביטוי ברצון לרצות שהתענוג שלה יהיה תלוי במשהו חיצוני.

משוואות המתנד ההרמוני

תנועה הרמונית פיזיקלית - הצגה דיפרנציאלית

כעת נרצה להעניק לכל התאור הנ"ל הצגה מתמטית וגאומטרית. לשם כך, נתמקד בתיאור הבסיסי של תנועה הרמונית פשוטה (בלי להתייחס לפרמטרים של תדירות ופאזה[4]) ונקביל תנועה זו לתנועה לאורך מעגל היחידה. הבה נסתכל על מערכת של גוף המחובר לקפיץ שנע בתנועה הרמונית פשוטה. נגדיר את שלושת המשתנים:

1. **מקום** $x(t)$: מיקום הגוף בזמן t.
2. **מהירות** $v(t)$: השינוי במיקום הגוף בזמן t.
3. **תאוצה** $a(t)$: השינוי במהירות הגוף בזמן t.

המשוואות שמתארות את התנועה הן:

1. הגדרת המהירות כשינוי במקום:

$$v(t) = \frac{dx}{dt}$$

(המהירות היא הנגזרת של המקום)

2. היחס בין התאוצה למקום כנובע מ'חוק הוק', ככל שהגוף רחוק מנקודת שיווי המשקל ככה הכח המחזיר (וממילא גם התאוצה) גדול יותר בכיוון הנגדי:

$$a(t) = \frac{dv}{dt} = \frac{dx}{dt^2} = \quad - x(t)$$

(התאוצה היא הנגזרת של המהירות, שהיא הנגזרת השניה של המקום ושווה בגודלה למרחק מנקודת שיווי המשקל ומכוונת תמיד לנקודת שיווי המשקל (ולכן סימנה שלילי))

הפתרונות הפשוטים ביותר למשוואות אלו הן פונקציות קוסינוס וסינוס:

$$x(t) = cos(t)$$

[4] מכיון שאנו עסוקים בעצם המחזוריות ולא מעונינים להשוות בין מקרים שונים של מחזוריות אין לנו ענין בפרמטרים אלו. למעשה, הפרש הפאזה תתבטא בשינוי במיקום התחלת התנועה, בעוד ששנוי בתדירות תעביר אותנו ממעגל היחידה לאליפסה.

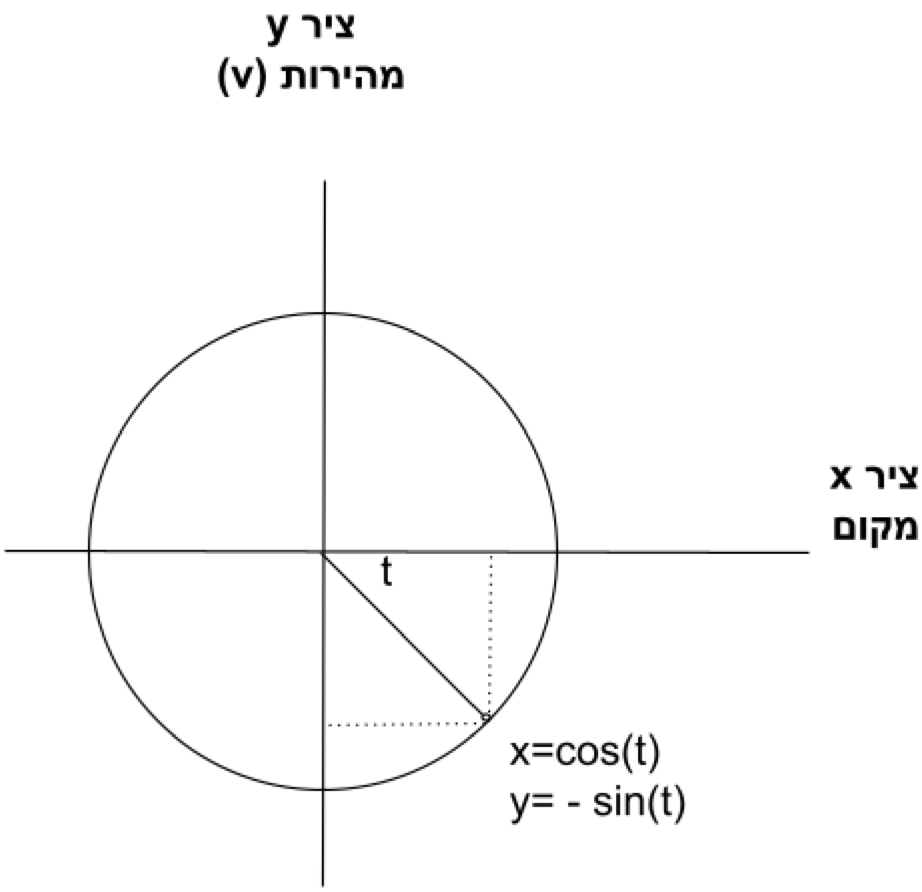
$$v(t) = \ - sin(t)$$
$$a(t) = \ - cos(t)$$

הצגה טריגונומטרית

מעגל היחידה הוא מעגל ברדיוס 1 שמרכזו בנקודת הראשית (0,0) של מערכת צירים קרטזית. נניח שיש לנו נקודה הנעה בצורה אחידה על היקף מעגל היחידה עם כיוון השעון. תנועתה של הנקודה מתוארת על ידי קואורדינטות x ו-y של מיקומה על המעגל. כעת נסתכל על ההשלכות של תנועה זו על ציר x בלבד. אפשר לראות שתנועת הנקודה על ציר x נעה קדימה ואחורה בין הקואורדינטות 1 ו-1- בצורה מחזורית. כלומר, התנועה על ציר x היא תנועה מחזורית - זו התנועה ההרמונית הפשוטה.
למעשה, התנועה המחזורית של הנקודה על ציר x היא תנועה הרמונית פשוטה. ניתן לתאר את מיקומה של הנקודה על צירי x ו-y על ידי פונקציות סינוסואידליות בסיסיות:

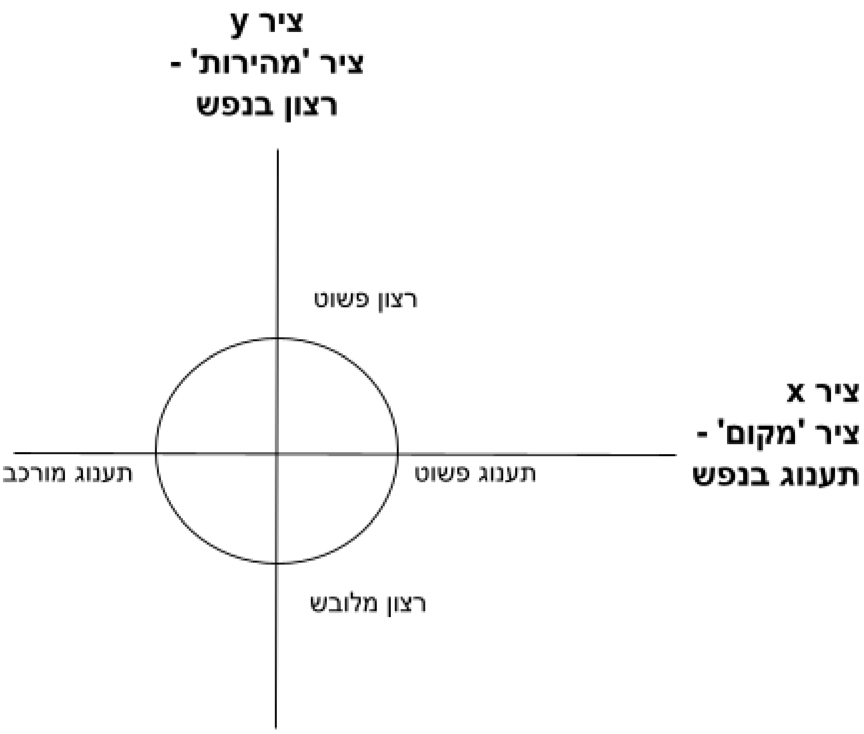
$$x(t) = cos(t)$$
$$y(t) =- sin(t)$$

משוואות אלו, כמובן תואמות את משוואת התנועה ההרמונית כאשר, x מייצג את המקום כנ"ל וקואורדינטת ה-y את המהירות v. באופן זה, ניתן להבין את התנועה המחזורית של גוף על קפיץ באמצעות הקבלה לתנועה מעגלית על מעגל היחידה.



תנועה הרמונית בנפש - הצגה דיפרנציאלית

כעת נגדיר את היחסים בין התענוג והרצון בנפש ונראה שנקבל מערכת משוואות המקבילות למשוואות התנועה ההרמונית הפיזיקלית. הפעם נתחיל דווקא מציור מעגל היחידה וגם כאן נפשט את החישוב כדי להתייחס לעצם המחזוריות, כנ"ל.



נגדיר את המשתנים:

1. $x(t)$ - הרכב התענוג בנפש, או ליתר דיוק, ההפרש בין מינון התענוג הפשוט לתענוג המורכב בנפש. בניסוח פשוט, **ניתן לומר כי** $x(t)$ **מורה על היתרון שיש לתענוג הפשוט על התענוג המורכב בנפש**.

   לכן, אם נסמן את מדת התענוג הפשוט ב-T_p, את מדת התענוג המורכב ב-T_m, ואת סך התענוג בנפש ב-1, אז יתקיימו היחסים הבאים:

$x(t) = T_p(t) - T_m(t)$

$T_p(t) + T_m(t) = 1$

2. $y(t)$ - הרצון בנפש שנע בין שני קצוות של רצון פשוט לרצון מלובש (רצון להסחף).

ככל שיש לתענוג הפשוט יתרון גדול יותר על התענוג המורכב, ככה הרצון המלובש יגדל מהר יותר (זהו "הרצון לרצון"). כמו כן, ככל שלתענוג המורכב יהיה יתרון גדול יותר על התענוג הפשוט, ככה יגדל מהר יותר הרצון הפשוט. נוכל לנסח את היחסים הנ"ל זאת כך:

$$x(t) = -\frac{dy}{dt}$$

מהכיוון השני, אם נסתכל על קצב גידול ההסחפות (רצון מלובש), נראה שההסחפות גדלה דווקא ככל שהיתרון של התענוג הפשוט גדול יותר.
נוכל לנסח זאת כך:

$$y(t) = \frac{dx}{dt}$$

אם כן, יש לנו מערכת של שני משוואות דפרנציאליות, שהפתרון הפשוט שלהם הוא:

$$x(t) = cos(t)$$

$$y(t) =- sin(t)$$

נשים לב שמערכת משוואות זו יכולה לתאר גם תנועה הרמונית, בדומה לתנועה ההרמונית שבמשל הקפיץ. לפי זה, $x(t)$ תתאר את המיקום של הקפיץ (ברגע t), ואילו $y(t)$ תתאר את המהירות של הקפיץ.

הצגה מרוכבת

כעת, נתאר את הנפש באמצעות מספרים מרוכבים (ובהמשך נכליל את ההגדרה באמצעות כלל רכיבי החבורה הקו-קוטרניים). ליתר דיוק, אנו ננסח פונקצית גל מרוכב שמחזירה ערך אחד שכולל בתוכו שני רכיבים, ממשי ומדומה, כנגד התענוג והרצון בנפש. באמצעות פונקציה זו נוכל בהמשך לחשב את ההסתברות לבחירה של אפשרות מסוימת.
כאשר הגדרנו את וקטור המצב של הנפש, שייכנו לקורדינטת ה-X את מדת התענוג בנפש, ולקורדינטת ה-Y את מדת הרצון בנפש. כעת, נגדיר את הנפש באמצעות מספרים מרוכבים, כאשר את מדת התענוג בנפש נשייך לרכיב הממשי של המספר המרוכב ואילו את מדת הרצון לרכיב המדומה. לפי כל מה שהראנו בפרקים הקודמים, כאשר נקביל בין מערכת הצירים במישור האוקלידי של המרחב הוקטורי, למערכת הצירים הקרטזית של המספרים המרוכבים, נוכל להגדיר את פונקצית המצב של הנפש כך:

$$\varphi(t) = Acos(t) + i\, Asin(t)$$

או בהצגה פולרית:

$$\varphi(t) = Ae^{it}$$

מכיון, שכפי שהראנו, המצבים בנפש הם מחזוריים, לכן ההצגה הפולרית היא הצגה נוחה ומתאימה לייצג בה את הנפש. ההצגה הפולרית, מקלה על החישובים המתמטיים שנבצע בהמשך בחישובי ההסתברות ובהתחשבות עם 'גלים היפרבוליים' אותם נפגוש בהמשך. כמו כן, מכיון שההצגה הפולרית מגדירה מצבים בנפש לפי שני גדלים: רדיוס A, וזוית t, קל יחסית להשוות בין מצבים נפשיים שונים.

נראה שפונקצית הגל של הנפש מקיימת את ההגדרה הדיפרנציאלית, של תנועה הרמונית, אותה פגשנו בפרקים הקודמים:

$$\varphi''(t) = -\varphi(t)$$

נגזור את פונקצית הגל פעמיים:

$$\varphi'(t) = iAe^{it} \Rightarrow \varphi''(t) = iiAe^{it} = -Ae^{it} = -\varphi(t)$$

כאמור, ההצגה הפולרית מקבילה למעשה להצגה הוקטורית ולכן לפי כל מה שהראנו בפרקים הקודמים, נוכל לחשב הסתברות של בחירה על ידי רבוע של פונקצית הנפש:

$$P(t) = |\varphi(t)|^2$$

אותה נחשב באמצעות הכפלה בצמוד:

$$|\varphi(t)|^2 = \left|Ae^{it}\right|^2 = Ae^{it} \cdot Ae^{-it} = A^2e^{it-it} = A^2e^0 = A^2$$

כלומר, כאשר יש רק אפשרות אחת לבחור, ההסתברות לבחור תלויה רק ברדיוס שמגדיר את המעגל (או הספירלה) של הנפש. לעומת זאת, כאשר ישנן שתי אפשרויות התלויות אחת בשניה, הזוית תבוא לידי ביטוי בגורם סטיה שנקבל. הסיבה לכך היא שכאשר יש לנו מספר אפשרויות, קודם נחבר את הגלים ואז נחשב את רבוע סכום הגלים. לפי סופרפוזיציה של הגלים, סכום של גלים הוא בעצמו גל, לכן אם נגדיר סכום גלים ככה:

$$\Psi(t) = \sum_i \varphi_i(t)$$

בהמשך נראה שחישוב ההסתברות יעשה על ידי רבוע סכום הגלים, ומכאן נחזור ונקבל את משוואת ההסתברות הקוונטית:

$$P(t) = |\Psi(t)|^2 = |\sum_i \varphi_i(t)|^2$$

כאמור, כאשר ישנן כמה אפשרויות נקבל גורם סטיה שתלוי בהפרש הזויתי בין פונקציות הגל של האפשרויות השונות. נדגים זאת באמצעות חישוב של הסתברות עם שתי אפשרויות תלויות:

$$P(t) = |\varphi_1(t_1) + \varphi_2(t_2)|^2 = \left|Ae^{it_1} + Be^{it_2}\right|^2 = (Ae^{it_1} + Be^{it_2})(Ae^{-it_1} + Be^{-it_2})$$

$$P(t) = A^2 + B^2 + ABe^{i(t_1-t_2)} + ABe^{i(t_2-t_1)}$$

אם נפתח את שני הביטויים האחרונים לפי הזהות של אוילר נקבל:

$$P(t) = A^2 + B^2 + 2ABcos(t_1 - t_2)$$

כלומר, קיבלנו גורם סטיה של $2ABcos(t_1 - t_2)$.

גל מרוכב במכניקה הקוונטית

ההצגה המרוכבת תשמש אותנו גם בהמשך, שם נרצה להביא משל לנפש מהאור לפי מכניקת הקוונטים. במכניקת הקוונטים, איננו מתארים מיקומים פיזיים אלא אמפליטודות הסתברות – גודל מרוכב שהערך המוחלט שלו בריבוע נותן את ההסתברות למדידה מסוימת.

כדי שההסתברויות לא ייעלמו או יגדלו בלי גבול במהלך הזמן, המערכת צריכה להתפתח בצורה שמחזיקה את סך כל ההסתברות קבועה – וזה קורה רק אם ההתפתחות היא **יוניטרית**, כלומר כזו ששומרת על הגודל הקבוע של פונקציית הגל. רק גלים מרוכבים מאפשרים תנועה סיבובית אשר שומרת על גודל קבוע לאורך הזמן. לעומת זאת, גלים ממשיים אינם שומרים על אמפליטודה קבועה לאורך זמן, ולכן אינם מבטיחים שימור הסתברות.

באופן מקביל, הצגה של מצבי הנפש כגל ממשי לא תוכל ללכוד את היחסים הדינמיים ביניהם, בדגש על השפעת הפאזה ושימור גודל ההסתברות במצב של ידיעה. פונקצית גל מרוכב, נותן הסתברות ללא תלות בפאזה במצב של גל בודד והסתברות תלוית פאזה בהתאבכות בין שני (או יותר) גלים.

תנועה סיבובית

רדיוס ומהירות זויתית

בפרקים הקודמים המחשנו את הדינמיקה בנפש על ידי שני משלים: מטוטלת וקפיץ. על מנת לקבל הבנה שלמה יותר של הנפש, נתבונן כעת במשל נוסף, תנועה סיבובית. ראשית נתבונן בתנועה סיבובית של מסה נקודתית. למעשה תנועה זו מקבילה לתנועה לאורך מעגל היחידה שתארנו בפרק הקודם. אמנם, כעת נתייחס גם לפרמטר של מהירות הסיבוב ω (המכונה גם המהירות הזויתית). נניח שהמסה m נעה במעגל עם רדיוס r, סביב מרכז הצירים, כאשר נקודת ההתחלה היא על ציר ה-x. נוכל לתאר את קואורדינטות המקום של המסה באופן הבא:

$$x(t) = r \cdot cos(\omega t)$$

$$y(t) = -r \cdot sin(\omega t)$$

אם נחזור לנמשל הנפשי, ונשתמש במושגים שהגדרנו במשל הקפיץ, מקום המסה על ציר ה-X תורה על יתרון התענוג הפשוט על התענוג המורכב, בעוד שהמקום על ציר ה-Y תורה על הרצון. כאן אין אנו מגדירים את הרצון כמהירות על ציר ה-X אלא כמקום על ציר הY. אכן, אם המהירות הזויתית ω תהיה שווה 1, המהירות על ציר הX תהיה זהה למקום על ציר הY, כפי שמתקבל מגזרת X לפי T:

$$\frac{dx}{dt} = -\omega \cdot r \cdot sin(\omega t) = \omega \cdot y(t)$$

לכן אם $\omega = 1$ נקבל:

$$\frac{dx}{dt} = -r \cdot sin(t) = y(t)$$

אם כן, מהי המהירות הזויתית בנפש? כדי לענות על שאלה זו, ננסה קודם להבין את משמעות משוואת האנרגיה של גוף מסתובב. כמו בתנועה הרמונית, גם בתנועה סיבובית האנרגיה נשמרת. מכיון שהמסה מסתובבת ללא הפסקה, האנרגיה בתנועה סיבובית תהיה תמיד קינטית ולכן היא קבועה ואינה תלויה במקום. עוצמת האנרגיה תחושב באופן הבא:

$$E_k = \frac{1}{2} m r^2 \cdot \omega^2$$

[חצי מכפלת המסה ברדיוס ברבוע ובמהירות הזויתית ברבוע]

מהמשוואה ניכר כי אותה אנרגיה יכולה להתבטא בצורות שונות. לדוגמא, ניתן להעניק כמות מסוימת של אנרגיה למסות שונות והם יסתובבו במהירויות שונות עם אותו רדיוס סיבוב או במהירויות זהות אך עם רדיוסי סיבוב שונים. אם נסובב מסות זהות עם אותה אנרגיה, נצטרך לבחור האם ליצור מעגל גדול או קטן כאשר בחירה זו תשפיע על הבחירה האם לסובב את המסה מהר או לאט. אם כן, בתנועה סיבובית, כאשר האנרגיה והמסה נתונים, הבחירה מתחלקת בין הרדיוס, לבין המהירות הזויתית. לדוגמא, מסה m, שמסתובבת באמצעות חוט באורך r סביב נקודת מרכז, תסתובב מהר יותר כאשר נקצר את החוט ולאט יותר כאשר נאריך אותו. ככל שנקצר את החוט ככה האנרגיה תתבטא יותר במהירות הזויתית ופחות במרחב.
במשל הקפיץ השוונו בין האנרגיה שנכנסת למערכת ומותחת את הקפיץ, לבחירה של האדם להשקיע את עצמו לתוך התממשות מציאותית מסוימת, מוגבלת. כמו במשל הקפיץ גם במשל התנועה הסיבובית נרצה להשוות בין האנרגיה לבחירה בנפש. כאמור, האנרגיה בתנועה סיבובית היא מכפלה של רדיוס הסיבוב ברבוע ובמהירות הזויתית ברבוע. אם נחזור לנמשל הנפשי, הרדיוס ישקף לנו את המתח או את המרחק בין התענוג הפשוט למורכב, כלומר כמה הוא מרוכז בדבר החיצוני שיסב לו תענוג. לעומת זאת, המהירות הזויתית תשקף לנו את הריכוז של האדם בחווית התענוג האישית שלו. כמו שאנרגיה מתחלקת בין הרדיוס למהירות הזויתית, ככה אפשר לומר, שהבחירה של האדם היא עד כמה הוא מרוכז בדבר החיצוני שיסב לו תענוג ועד כמה הוא מרוכז בחווית התענוג שהדבר החיצוני מסב לו. האדם יכול לבחור להיות עסוק בדבר החיצוני ושהוא זה שגורם לו תענוג, וככל שהוא יהיה יותר מרוכז בדבר שגורם לתענוג ככה הוא יהיה פחות פנוי לחווית התענוג שהדבר מסב לו. לעומת זאת, אם האדם בוחר להיות מרוכז בחווית התענוג ממילא התענוג יתפס כדבר שהוא יותר בתוכו ופחות ממשי.

תנע זויתי והתמד

כדי להבין טוב יותר את המשמעות של הרדיוס והמהירות הזויתית נתבונן בשני גדלים נוספים, תנע זויתי והתמד. ההתמד הוא תכונה של הגוף המסתובב. ככל שמסת הגוף מפוזרת רחוק יותר מהמרכז כך גדל ההתמד. עבור מסה נקודתית נחשב את ההתמד (I) על ידי הכפלת המסה ברדיוס הסיבוב ברבוע:

$$I = mr^2$$

התנע הזויתי (L) מתאר את התמדת התנועה הסיבובית של גוף בעל התמד מסוים I. נחשב את התנע הזויתי L כך:

$$L = I\omega$$

אם נשווה למשוואת האנרגיה שראינו קודם:

$$E_k = \frac{1}{2}mr^2 \cdot \omega^2$$

נוכל להגדיר את האנרגיה כפונקציה של ההתמד כך:

$$E_k = \frac{1}{2}I \cdot \omega^2$$

או כפונקציה של התנע הזויתי, כך:

$$E_k = \frac{1}{2}L \cdot \omega$$

מיחסים אלו נובע, שניתן להשקיע אותה אנרגיה בגופים שונים בעלי התמד שונה ולקבל תנע שונה. הדוגמא הקלאסית לשימוש בעקרון זה הוא 'גלגל תנופה'. על ידי השקעת אנרגיה בסיבוב גלגל גדול אשר מסתו מפוזרת בהיקף הגלגל (כך שכל המסה מרוחקת מהמרכז במרחק של הרדיוס) - 'גלגל תנופה' - האנרגיה כביכול נאגרת בגלגל שמסתובב לאט אך עם התמד ותנע זויתי גדול. כתוצאה משימור התנע, תנועת הגלגל הגדול והכבד יכולה להיות מומרת לתנועה מהירה של גלגל קל או גלגל בעל רדיוס קטן.
ניתן דוגמא (קיצונית) לנמשל אנושי לעקרון הנ"ל. אם נשווה בין החוויה של אדם שיכור לזו של אדם פיקח, נשים לב ששיכור מרוכז יותר בחווית התענוג של עצמו ופחות בדבר שמסב לו עונג. לעומת זאת, אדם פיקח יהיה יותר מרוכז בדבר שמסב לו תענוג מאשר בחווית התענוג של עצמו. האדם השיכור דומה לגלגל קטן שמסתובב מהר עם תנע זויתי נמוך ולכן כל הסחת דעת תוכל להסיט אותו מהדבר החיצוני שמסב לו את העונג. לעומת זאת, האדם הפיקח שמרוכז בדבר שגורם לעונג, דומה לגלגל התנופה בעל התמד ותנע זויתי גדול. כמו גלגל התנופה שלמרות שהוא מסתובב לאט הוא מתמיד בתנועתו, כך האדם הפיקח לא מוסח בקלות וקשה יותר להסיט אותו מהדבר החיצוני שמסב לו את העונג.

סיכום ביניים

לסיכום, השוונו עכשיו בין המושגים (1) אנרגיה, (2) מהירות זויתית (3) ורדיוס, לבין (1) הבחירה בנפש, (2) הריכוז בחוית התענוג האישית (3) והריכוז בדבר החיצוני שמסב את התענוג. כדי שתהיה אנרגיה, חייבת להיות תנועה (מהירות זויתית) אך גם חייב להיות רדיוס או מקום בו מתקיימת התנועה. אם רדיוס הסיבוב יתאפס, משמעות הדבר שלא תהיה שום מציאות ממשית וממילא לא תהיה שום אנרגיה. בהקבלה לנפש, בחירה מורכבת מחווית התענוג מהדבר שהאדם בוחר בו וגם ממציאות חיצונית שהאדם בוחר בה. כמו שאין אנרגיה אם אין מקום (רדיוס), כך אם אין דבר חיצוני אליו האדם מתייחס ובו הוא בוחר, אין כאן בחירה.

תנועה הרמונית ותנועה סיבובית - המשל

אם נערוך השוואה בין המשל של תנועה הרמונית למשל של תנועה סיבובית, נוכל להצביע על מספר הבדלים.

- **ממד התנועה -** תנועה סיבובית מתרחשת בשני מימדים, ואילו תנועה הרמונית במימד אחד (גם במטוטלת אנו מודדים רק את התנועה על ציר ה-x). אמנם, נשים לב שאם נסתכל על תנועה סיבובית מהצד הגוף המסתובב יראה כאילו הוא נע הלוך וחזור כמו קפיץ.
- **הרכב האנרגיה -** בתנועה הרמונית אנו מוצאים שני סוגי אנרגיה, פוטנציאלית וקינטית (המומרים אחד בשני כל הזמן), ואילו בתנועה סיבובית רק אנרגיה קינטית.
- **הקשר בין הפרמטרים -** בתנועה הרמונית הפרמטרים של מהירות ומשרעת מתחלקים בין שני סוגי האנרגיה שקיימים בה ושמומרים האחד בשני כל העת (פוטנציאלית וקינטית). לכן, כאשר נשנה את סך האנרגיה במערכת בהכרח שהדבר ישפיע גם על המשרעת וגם על המהירות של התנועה. לעומת זאת, בתנועה סיבובית, בה יש רק סוג אחד של אנרגיה (קינטית), כאשר נשנה את סך האנרגיה במערכת, נוכל להחליט האם לשנות פרמטר אחד בלבד (הרדיוס או המהירות הזוויתית) או שנים ביחד, שכן הפרמטרים בלתי תלויים.

אנחנו רגילים לראות את הקשר בין תענוג לרצון ככח שמושך בכיוון אחד: יש לי רצון לתענוג ואני נמשך אליו. באמצעות משל המטוטלת ומשל הקפיץ נחשפנו למחזוריות שיש בתוך התענוג והרצון כך שהתנועה היא לא רק בכיוון אחד, אלא דו כיוונית ומחזורית. כמו שבקפיץ אגורות אנרגיה פוטנציאלית ואנרגיה קינטית, המומרות אחת בשניה, ככה בנפש יש צד שהאדם מרגיש שהעיקר זה התענוג שהוא משיג, וצד שהעיקר זה התענוג אליו הוא שואף. האנרגיה הפוטנציאלית מגלמת את הציור של תענוג שעדיין לא מוצה[5]. ציור זה מוליד שאיפה חוזרת אל התענוג. לעומת זאת, האנרגיה הקינטית מגלמת תענוג מהמרוצה להשיג את התענוג. התחלופה בין שני סוגי התענוג, היא שיוצרת את הדינמיקה המחזורית בנפש.

משל התנועה הסיבובית מגלה לנו עומק נוסף. התנועה הסיבובית חושפת שאפשר לצייר את התענוג בשני מימדים התענוג מהדבר החיצוני והתענוג מחויית המרוצה (כאן הרצון כלול בתענוג). כפי שציינו לעיל, אם נסתכל על התנועה הסיבובית מהצד, התנועה תראה לנו כמו התנועה המחזורית של הקפיץ על מימד אחד. למעשה, זו התפיסה השטחית והראשונית יותר של חווית הרצון בנפש. משל התנועה הסיבובית ממחיש עבורנו מודעות לחוויה פנימית יותר בנפש, הדינמיקה שבתוך התענוג. על ידי מודעות לשני מימדי התענוג, האדם יכול לבחור במה הוא מרכז את התענוג שלו ולהשפיע על האופן בו הבחירה שלו באה לידי ביטוי.

לדוגמא, נזכר במשל של השיכור והפיקח. אם האדם מסוגל לשים לב למה שקורה בתוכו, הוא יוכל לבחור האם להיות מרוכז בתענוג שבמרוצה שבתוכו (כמו השיכור), או בדבר החיצוני שמסב לו תענוג (כמו הפיקח). שתי אפשרויות אלו, בהן האדם יכול לבחור להיות מרוכז, מקבילות לפרמטרים של רדיוס ומהירות זויתית המגדירים את התנועה הסיבובית. כמו שניתן לבחור להביע את האנרגיה באמצעות הגדלת רדיוס הסיבוב או בהגדלת המהירות הזויתית כך בנמשל, האדם יכול לבחור במה להתרכז בדבר המענג או בחווית התענוג עצמה. ריכוז במקור התענוג החיצוני משמעותו להביע את האנרגיה בהגדלת הרדיוס, והיא דומה להסתכלות מהצד על התנועה הסיבובית שם העיקר הוא משרעת-רדיוס התנועה (שלכן נראית כמו תנועה הרמונית של קפיץ או מטוטלת). לעומת זאת, להיות מרוכז בתענוג שבמרוצה משמעותו להביע את האנרגיה בהגדלת המהירות הזויתית, והוא דומה להסתכלות על התנועה הסיבובית מלמעלה שם העיקר הוא שהתנועה היא מעגלית.

לסיכום, שני המשלים של תנועה הרמונית ותנועה סיבובית, חושפים רבדים נסתרים בנפש. ניתן לתאר את חווית הדינמיקה בנפש בשלושה אופנים שונים:

[5] כפי שהוסבר לעיל בעמוד ?? באות י' (בתאור שלב "מתוח ב'")

1. תנועה ישרה (חד כיוונית) - בדרך כלל אנו חווים המשכות אל תענוג חיצוני כהמשכות בקו ישר, ממני אל הדבר החיצוני שגורם לי תענוג.
2. תנועה הרמונית (דו כיוונית) - משל המטוטלת (והקפיץ) עוזר לנו להיות מודעים לכך שהתענוג החיצוני מוליד בקרבנו תנועה מחזורית של המשכות ודחיה.
3. תנועה סיבובית (בשני מימדים) - משל התנועה הסיבובית עוזר לנו להיות מודעים למה שמתחולל בתוך הנפש ואיך הנפש חווה גם את המרוצה בתור תענוג.

תנועה סיבובית של טבעת

עד עכשיו, התבוננו בתנועה סיבובית של מסה נקודתית והתיחסנו למקום של המסה ולמהירות הסיבובית שלה. כעת, נתבונן בתנועה סיבובית של טבעת סביב מרכזה. לטבעת תכונות דומות למסה נקודתית (אותו התמד, אנרגיה וכו') אך יש לה יתרון בתור משל להבנת המתרחש בנפש. למעשה, מבחינת המחזוריות בקואורדינטות המקום, כל נקודה בטבעת מקיימת מחזוריות דומה למסה נקודתית. כשנסתכל על הטבעת כמכלול, הטבעת נשארת במקומה, אך כל נקודה בה מקיימת מחזוריות. ככה בנפש, אפשר לומר שהמקומות והתנועות ההופכיות בנפש קיימות בו זמנית. כלומר, באותו זמן שהאדם נמשך אל התענוג המורכב הוא גם דוחה אותו, ובאותו זמן שיש לנפש תענוג פשוט מעצמה יש לה גם תענוג מורכב.

גל במים

ריבוי של גלים

בפרקים הקודמים, השתמשנו בארבעה משלים מכניים כדי לתאר תנועה מחזורית-גלית: מטוטלת, קפיץ, משקולת מסתובבת וטבעת מסתובבת. השוונו בין הדינמיקה המחזורית של גופים אלו לדינמיקה שקיימת בנפש. כעת נרצה להתבונן במשל של גל במים. קל לזהות את המחזוריות שקיימת בגלים במים אך הגדרתה מעט מורכבת יותר. ראשית, נשים לב להבדל מהותי בין המחזוריות שקיימת בארבעת המשלים המכניים למחזוריות שקיימת בגל של מים. ארבעת המשלים המכניים, מתארים תנועה מחזורית אחת אך לא נתן לתאר בעזרתם יותר מתנועה אחת בזמן נתון. לעומת זאת, גלים במים הם למעשה 'הפרעה' שעוברת בתווך - במים, מה שמאפשר ריבוי גלים במקביל.

תופעה זו מענינת אותנו מכיון שהיא מתארת בצורה מדויקת יותר את הדינמיקה בנפש. ניתן לתאר את ההשפעה של חוויות (או מחשבות) שונות על הנפש כ'הפרעות' או גלים שמתפשטים בנפש. גלים אלו הם למעשה הגלים אותם תארנו בפרקים הקודמים שמתארים את המחזוריות שקיימת בתענוג-רצון בנפש. הנפש יכולה לשאת ריבוי של רצונות שונים או להתענג מדברים שונים בו זמנית, וממילא היא מכילה ריבוי של גלים של תענוג-רצון בו זמנית. כלומר, מלבד התאור של הצדדים ההפוכים שקיימים באותו גל (תענוג פשוט לעומת תענוג מורכב ורצון פשוט לעומת רצון מלובש) הנפש יכולה לשאת גלים שונים לגמרי עם הצדדים ההפוכים שבתוך כל גל בנפרד. לדוגמא, הנפש יכולה להתענג מחוויה של מאמץ ובו זמנית גם להתענג מחוויה של רפיון ומנוחה. האדם יכול לרצות לממש את עצמו בדרך אחת ובאותו זמן יהיה בו גם רצון להתממש בדרך אחרת לחלוטין. כמו במים, קיומו של גל אחד בנפש לא יסתור את קיומו של אחר, ולעתים הם אף יחלפו אחד על פני השני וכל אחד ימשיך בדרכו ללא השפעה הדדית.

אינטראקציה בין גלים

כדי להבין את התנהגות הגלים בנפש, נתבונן מעט במשל של בריכת גלים. בבריכת גלים, כאשר שני מחוללי גלים יוצרים גלים במים, נוצרות תבניות מורכבות כתוצאה מהאינטראקציה

בין הגלים שנוצרים מהמקורות השונים. כל אחד מהמחוללים מתנהג כמו קפיץ המבצע תנועה הרמונית. התנועה ההרמונית של קפיץ היא מחזורית, וחוזרת על עצמה בצורה סדירה, אך מכיוון שקפיץ פועל כגוף נפרד וסגור במערכת מכנית, הוא אינו יכול ליצור אינטראקציה ישירה עם תנועות הרמוניות של קפיצים אחרים. אם שני קפיצים מתנדנדים בתדירויות שונות, כל אחד מהם ימשיך להתנדנד באופן עצמאי, ללא התאבכות ביניהם.

המים בבריכת הגלים משמשים כתווך המאפשר את האינטראקציה בין הגלים שנוצרים. בניגוד לתנועות המכניות של הקפיצים, המים מסוגלים לקלוט את האנרגיה שמועברת אליהם מהמחוללים השונים ולהעביר אותה הלאה, כך שהגלים שמתפשטים במים משפיעים יחד על גובה פני המים. כאשר גלים אלו נפגשים, נוצרת תופעה של התאבכות - תהליך שבו הגלים מתמזגים זה עם זה, כאשר במקומות מסוימים הם מעצימים זה את זה (התאבכות בונה) ובמקומות אחרים הם מקזזים זה את זה (התאבכות הורסת). באזורים בהם שני הגלים יהיו בשיא גובהם, גובה פני המים יהיה כסכום שני הגבהים. באופן דומה, באזורים בהם שני הגלים יהיו בשפל גובה פני המים יגיע לשיא השפל ואילו באזורים בהם גל אחד יהיה בשיא הגובה ואילו השני בשיא השפל נקבל התקזזות בין הגלים וגובה פני המים יהיו ממוצעים. כך, התווך של המים מאפשר התרחשות של תופעות שלא היו אפשריות לו היינו נשארים ברמה המכנית של הקפיצים בלבד.

דימינו את התנועה ההרמונית של קפיץ למחזוריות של התענוג והרצון בנפש. לדוגמא, כאשר הנפש מתמודדת עם אפשרות למפגש עם אדם מסוים, נוצר בתוכה מחזוריות בתענוג שמפגש זה מעורר, אשר מתנהג כתנועה הרמונית (בין תענוג מורכב מהמפגש עם האדם לתענוג פשוט של הנפש עם עצמה). כמו הקפיץ, גם בנפש ישנם תהליכים מחזוריים של שינוי בהרכב התענוג, כפי שהסברנו בפרקים הקודמים. אם נחשוב על מפגש עם אדם אחד כעל קפיץ אחד, הרי שהתענוג מהמפגש (תענוג מורכב) או התענוג מהתכנסות (תענוג פשוט) הם חלק מתנועה הרמונית פנימית, שבדרך כלל נשארת תחומה לתחום המפגש עם אותו אדם בלבד. אך הנפש אינה מערכת מבודדת כמו קפיץ מכני, אלא היא דינמית ומורכבת יותר, בדומה למים בבריכת גלים.

לדוגמא, כאשר הנפש מתמודדת עם האפשרות למפגש בו-זמני עם שני אנשים שונים, היא הופכת למעין תווך שבו יכולים הרצונות השונים להיפגש ולהשפיע על הנפש. בדיוק כפי שהמים מאפשרים התאבכות בין גלים, הנפש יכולה ליצור תופעות דומות שבהן התענוג ממפגש עם אדם אחד עשוי להתחזק או להיחלש כתוצאה מהאינטראקציה עם התענוג

ממפגש עם אדם אחר. במפגש כזה, הנפש חווה שילוב של התענוג שהמפגשים השונים מעוררים בנפש, כאשר הגל שמתקבל הוא סופרפוזיציה של שני התענוגים - שילוב של הגלים הנפשיים שנוצרו בנפרד מהאפשרות של כל מפגש. כך, בדומה להתאבכות המתקבלת על פני המים, פני הנפש משקפים את התוצאה המורכבת של האינטראקציה בין התענוגים השונים, כאשר במקומות מסוימים התענוג מהמפגש עשוי להתחזק ובמקומות אחרים להיחלש, בהתאם לדפוסי ההתאבכות בין הגלים הנפשיים. למעשה, המפגש המשותף עשוי להצטייר בנפש בארבע צורות שונות במקביל:

1) אם הגלים ששני המפגשים מייצרים נפגשים בשיא, כלומר, קיים תענוג (מורכב) משותף מהמפגש עם שני הדמויות, אז סך הכל התענוג המורכב מהמפגש יתעצם.
2) במקומות בנפש בהם היחס לשתי הדמויות משתקף בתענוג פשוט, תענוג מהתכנסות ואי-התלות במפגש עם הדמויות, נקבל התעצמות של התענוג הפשוט.
3) לעומת זאת, אם המפגש עם דמות אחת תשתקף בנפש כתענוג (מורכב) מציור של המפגש בפועל ואילו המפגש עם הדמות השניה תשתקף כתענוג פשוט, תענוג מאי-התלות במפגש, נקבל שהתענוג (המורכב) מהמפגש המשותף בפועל יהיה קטן ביחס לתענוג (המורכב) מציור המפגש עם הדמות הראשונה.
4) כמובן, שמצב זה יכול להיות הפוך, כאשר דווקא הדמות הראשונה, תעורר במקום מסוים בנפש תענוג פשוט ואילו הדמות השניה תעורר תענוג מורכב, שיתוסף על התענוג הפשוט של הראשון.

גל אלקטרומגנטי

הטבע הגלי של גלים אלקטרומגנטיים

גלים אלקטרומגנטיים, כמו אור, רדיו וקרני רנטגן, הם גלים שנוצרים משדות חשמליים ומגנטיים שמתנודדים בצורה מחזורית ומתקדמים במרחב. הגלים האלה נעים בריק במהירות האור (c), כאשר:

- השדה החשמלי (E) והשדה המגנטי (B) הם תמיד ניצבים זה לזה.
- שני השדות ניצבים לכיוון התקדמות הגל.

התיאור המתמטי של גלים אלקטרומגנטיים ניתן על ידי משוואות מקסוול, ומתאר את הקשר בין התנודות של השדות המגנטיים והחשמליים במרחב ובזמן. שדה חשמלי שעוצמתו משתנה בזמן, מייצר שדה מגנטי מסתובב במרחב. כמו כן, שדה מגנטי שעוצמתו משתנה בזמן מייצר שדה חשמלי מסתובב במרחב[6]. נקצר ונאמר, שהפתרון של משוואות אלו הן משוואות הגלים שמרכיבים את הגל האלקטרו-מגנטי:

$$B_z(x,t) = B_0 cos(kx - \omega t)$$
$$E_y(x,t) = E_0 cos(kx - \omega t)$$

כאשר:

- $E_y(x,t)$ ו-$B_z(x,t)$ הם עוצמת השדה החשמלי והמגנטי בנקודה x ובזמן t,
- E_0 ו-B_0 הם המשרעות של השדה החשמלי והמגנטי,
- k הוא וקטור הגל, שמתאר את התדירות המרחבית (מספר הגלים ליחידת אורך),
- ω היא התדירות הזוויתית שמתארת את תנודות השדות בזמן.

צפיפות האנרגיה בגל אלקטרומגנטי והסתברות קוונטית

בגל אלקטרומגנטי, האנרגיה נשמרת בשדות החשמליים והמגנטיים. כמו שהוסבר קודם, האנרגיה הכוללת של הגל נובעת מצפיפות האנרגיה של השדות. אם נשווה לאנרגיה שנאגרת בקפיץ כאשר מותחים אותו, נוכל לומר שצפיפות האנרגיה בגל אלקטרומגנטי ביחס לאנרגיה, דומה לאנרגיה שנאגרת בקפיץ ביחס לאורך המתיחה של הקפיץ. צפיפות האנרגיה הכוללת של הגל היא הסכום של צפיפות האנרגיה של השדה החשמלי והמגנטי. ניתן להראות שסך צפיפות האנרגיה המתקבלת היא:

$$U_{total} = \varepsilon_0 |E|^2$$

[6] כפי שנסביר בהמשך, הגל האלקטרומגנטי מהווה משל מדויק לחלק הלא מודע בנפש. תורת היחסות הפרטית מאחדת את שני השדות ומסבירה שהפיצול ביניהם נובע ממדידה של מערכות יחוס שונות. בהתאם לכך, היחס בין השדה החשמלי למגנטי משתקף בנפש גם כיחס בין מערכות יחוס שונות בנפש (בדומה ליחס בין הנמשלים הנפשיים של הקפיץ והתנועה הסיבובית), אך מכיון שהתבוננות זו מצריכה הסברה באריכות גדולה ואינה נצרכת להבנת המשך המאמר, לא נכנסנו לפרטי המשל.

כאשר $|E|^2$ היא עוצמת השדה החשמלי ברבוע ו-ε_0 היא המקדם הדיאלקטרי של הריק.

מעבר לצפיפות הסתברות קוונטית

כאן מגיע הקשר בין הפיזיקה הקלאסית לפיזיקה הקוונטית. בפיזיקה הקלאסית, מתארים 'כמות של אנרגיה' בגל אלקטרומגנטי לפי צפיפות האנרגיה של הגל שמועברת ביחידת נפח במרחב. בפיזיקה הקוונטית, מתארים 'כמות של אנרגיה' בגל אלקטרומגנטי כמספר של **פוטונים** - יחידות בדידות של אנרגיה.

בפיזיקה קוונטית, ההסתברות למצוא פוטון במקום מסוים במרחב מתוארת על ידי **פונקציית הגל** של הפוטון. פונקציית הגל Ψ מקיימת את עקרון **ההסתברות הקוונטית**, שבו ריבוע המשרעת של פונקציית הגל ($|\Psi|^2$) נותן את **הצפיפות ההסתברותית** למצוא את הפוטון בנקודה מסוימת. עבור פוטון, צפיפות ההסתברות הזאת פרופורציונלית לצפיפות האנרגיה שנמצאת באותו נפח, שמחושבת באמצעות ריבוע המשרעת של השדות החשמליים והמגנטיים ($|E|^2$) ולכן מתקבל היחס הבא:

$$x \text{ הסתברות למציאת פוטון ב } - \ \alpha\ |\Psi|^2\ \alpha\ |E|^2$$

המעבר מפיזיקה קלאסית לקוונטית

המעבר הזה נובע מההבנה שפוטונים הם החלקיקים הנושאים את האנרגיה של הגל האלקטרומגנטי. כאשר אנו מסתכלים על הגל מנקודת מבט קוונטית, מכיון שפוטון הוא יחידת אנרגיה בדידה, צפיפות האנרגיה של השדה האלקטרומגנטי משקפת את כמות הפוטונים באותו נפח שתצטבר לאורך זמן. במלים אחרות, צפיפות האנרגיה תשקף את הסיכוי למצוא פוטון במיקום נתון. עוד נעיר (כפי שהוזכר בתחלת המאמר) שהאופי הדואלי של האור, שייך לא רק לפוטונים אלא כל סוגי החלקיקים, אם כי הוא מדיד רק בתחום החלקיקים שבסדר גודל אטומי. כל סוג חלקיק וכן כל מצב של חלקיק יתואר על ידי פונקצית גל שונה. לסיכום:

- בפיזיקה קלאסית, גלים אלקטרומגנטיים מתוארים לפי התנודות של השדות החשמליים והמגנטיים וצפיפות האנרגיה שנמצאת בגל.
- בפיזיקה קוונטית, האנרגיה של הגל מקושרת לפוטונים, וההסתברות למציאת פוטון מתוארת על ידי ההסתברות הקוונטית, שהיא ריבוע המשרעת של השדות, בדומה לצפיפות האנרגיה בגל הקלאסי.
- ניתן להתאים משוואת גל לא רק לפוטונים אלא לכל החלקיקים ולהסיק בעזרתם את ההסתברות של החלקיק להמצא במקום או במצב מסוים.

חישוב קוונטי של הסתברות למציאת חלקיק

לפי כל האמור, בהנתן חלקיק עם משוואת גל:

$$\Psi = Ae^{i\phi}$$

נוכל לחשב את ההסתברות להמצאות של חלקיק כך:

$$P = |\Psi|^2 = A^2$$

אך נשאלת השאלה, כיצד נתאר חלקיק כאשר ישנם שתי אפשרויות לתאר את הגל של החלקיק, כמו בניסוי שני הסדקים בו הגל יכול להגיע למסך דרך כל אחד משני הסדקים? התשובה היא, שכמו כל גל, גם גל של חלקיק מקיים את עקרון הסופרפוזיציה ולכן הגל שיתאר את החלקיק יהיה הסכום של גלי שתי האפשרויות:

אם גל מסדק א' הוא $\varphi_1 = Ae^{i\phi_1}$ וגל מסדק ב' הוא $\varphi_2 = Be^{i\phi_2}$ אז הגל של החלקיק שמגיע לנקודת המדידה על המסך הוא:

$$\Psi = \varphi_1 + \varphi_2$$

כעת, אם נרצה לחשב את ההסתברות שהחלקיק יגיע למקום מסוים, נעזר שוב בנוסחת ההסתברות הקוונטית:

$$P = |\Psi|^2 = |\varphi_1 + \varphi_2|^2 = \left|\varphi_1\right|^2 + \left|\varphi_2\right|^2 + 2\left|\varphi_1\right|\left|\varphi_2\right|cos(\phi_1 - \phi_2)$$

לכן:

$$P = A^2 + B^2 + 2ABcos(\phi_1 - \phi_2)$$

מהמשוואות האחרונות נראה בברור הטבע הגלי של החלקיק שמתבטא בתופעת ההתאבכות שבאה לידי ביטוי בגורם ההתאבכות: $2ABcos(\phi_1 - \phi_2)$.

למעשה, נוכל להרחיב הגדרה זו לכל מספר של גלים (כמו בניסוי החריצים עם ריבוי חריצים), באופן הבא:

$$P = |\Psi|^2 = |\sum_i \varphi_i|^2$$

מדידה קוונטית בנפש

עתה, לאחר שהצבענו על קווי הדמיון בין התנהגותה של הנפש לבין גלים – הן גלים במים והן גלים אלקטרומגנטיים – נעמיק את ההשוואה ונבחן מהי האנלוגיה המדויקת יותר להבנת אופן פעולתה של הנפש. גם בגלים במים וגם בגלים אלקטרומגנטיים קיימת תופעת הסופרפוזיציה – קיום בו-זמני של כמה מצבים יחד. אולם יש להבחין בהבדל מהותי: בעוד שגל במים הוא תופעה פיזית ממומשת – תנודות ממשיות של מולקולות נוזל – הרי שגל אור (ובמיוחד בפירוש הקוונטי שלו) מייצג פוטנציאל – כלומר, שדה של הסתברויות שעדיין לא התממש. במובן זה, האור אינו נושא עמו תופעה מוחשית, אלא מגלם אפשרויות של הופעת פוטונים – יחידות האנרגיה – ברגע המדידה.

מן הבחינה הזו, הנפש האנושית דומה יותר לאור מאשר למים. החלק הלא-מודע בנפש אינו שדה של תהליכים ממומשים, אלא מרחב פוטנציאלי שבו מתקיימות בו-זמנית אפשרויות ורצונות שונים. רק בעת פעולת ההכרעה – שהיא מעין "מדידה נפשית" – קורס הגל הנפשי למצב מסוים, כלומר, מתממשת אפשרות אחת מתוך כלל האפשרויות. כפי שבאור המימוש מתרחש רק בעת מדידה (של פוטון), כך גם בנפש – המימוש מתרחש רק בעת מימוש הבחירה.

כפי שראינו בפרקים הקודמים, החלק הלא-מודע של הנפש מתנהג בצורה גלית. מבחינה זו הנפש דומה מאוד לגל אלקטרומגנטי המתפשט בריק, שכן גל זה מיצג שדה של פוטנציאל המתפשט במרחב מבלי להתממש. כאשר הגל יתממש, כלומר ימדד, התוצאה תהיה ביחידות של אנרגיה - פוטונים - כאשר הקשר בין מספר הפוטונים למשוואת הגל, תתבטא במשוואת

ההסתברות הקוונטית. בדומה לכך, נוכל לתאר את ההסתברות להכרעה מסוימת כנגזרת ממשוואת גל הרצון בנפש. ככל שהמשרעת של גל הרצון (בנקודת המדידה של הכרעה מסוימת) גדול יותר, תגדל ההסתברות לאותה הכרעה.

בפרק הבא נראה שבמקרים מסוימים יתקיימו בנפש רבוי של גלי רצון. גלים אלו, בדומה לאור, יצרו התאבכות שתשפיע על קבלת ההכרעות בפועל. על ידי תאור הרצונות השונים בנפש באמצעות משוואות גל, נוכל לבטא את הסתברות להכרעה על ידי משוואת הסתברות דמוי קוונטית.

$$ אולי כאן להכניס את החישוב המטרציוני $$

פרק ג' - הסתברות של בחירה

נפש ומציאות

בפרק הקרוב, נרצה להגדיר במקביל ל"פונקצית הגל של הנפש' המתארת את החלק הלא מודע שלה, גם 'פונקצית מציאות' כללית שתתאר את תפיסת המציאות של החלק המודע בנפש. כלומר, ההסתברות של אפשרות הכרעה מסוימת תגזר לא רק מעוצמת הרצון בחלק הלא מודע של הנפש אלא גם מהמשקל שהחלק המודע של הנפש יתן לרצון זה כתוצאה מהאופן בו היא תופסת את המציאות. עוצמת הרצון בנפש קשורה לא רק לרצון הלא מודע בנפש אלא גם לאיך החלק המודע של הנפש חווה את האפשרות של רצון זה להתממש. לדוגמא, פונקצית המציאות עשויה לתאר את הסיכוי שהאדם יתן לכך שמאורע מסוים יתרחש או ששחקן יריב יעשה מהלך מסוים. כפי שנראה, באופן טבעי החלק המודע של הנפש מתנהג בצורה לוגית יותר בעוד החלק הלא-מודע של הנפש מתנהג בצורה קוונטית.

תפיסת הבחירה בקוגניציה הקוונטית

הגישה של **הקוגניציה הקוונטית**, ובפרט כפי שמציג אותה פרופסור אנדריי חרניקוב[7], מבקשת להשתמש בפורמליזם המתמטי של מכניקת הקוונטים כדי לתאר תופעות מנטליות וקוגניטיביות של בני אדם. חרניקוב מדגיש שלא מדובר **בטענה פיזיקלית**, כאילו המוח האנושי פועל לפי תהליכים קוונטיים ממשיים (כגון סופרפוזיציה נוירונית או שזירה), אלא כמודל מתמטי-פורמלי שמבקש לייצג את האינטראקציה ההסתברותית המתחוללת במערכות קוגניטיביות מורכבות.

הטיעון של חרניקוב מתבסס על **שרשרת לוגית ברורה**:

[7] ראה ?? כמו כן, רק BUSYMER ?? שנוקט בכללות באותה גישה.

1. **מורכבות מבנית** של המוח (או כל מערכת פסיכולוגית, ביולוגית או חברתית) גורמת ל־**אובדן מידע פרטני** – כלומר, אין אפשרות לדעת ולעבד את כל המשתנים הרלוונטיים בזמן אמת.
2. כתוצאה מכך נוצר צורך בייצוג הסתברותי כולל, אך כזה שאינו עקבי בכל מצב, אלא **תלוי-הקשר** (Contextual): התשובה לשאלה מסוימת משתנה לפי אופן ניסוחה, הזמן, ההיסטוריה האישית ועוד.
3. הסתברויות קונטקסטואליות כאלו **אינן ניתנות לייצוג במסגרת הסתברות קלאסית** (מבוססת-קולמוגורוב), ולכן יש לעבור למודל הסתברותי אחר – כזה שמבוסס על **אמפליטודות הסתברות מורכבות**, אשר סכימתן לפי **כלל בורן** מניבה את ההסתברות הסופית.
4. אמפליטודות אלו הן אלמנטים ב־**מרחב הילברט ליניארי**, ולכן הדינמיקה שלהן מתוארת באופן טבעי באמצעות **משוואת שרדינגר מנטלית** – התפתחות ליניארית של מצב ההכרעה בהתאם להשפעות חיצוניות ופנימיות (המילטוניאן מנטלי).

במילים אחרות, לפי חרניקוב, ברגע שמערכת כלשהי (כגון המוח) מגיעה לרמה מספקת של מורכבות, היא תתחיל לגלות התנהגות הסתברותית שניתן לייצג במונחים של מכניקת הקוונטים. המצב המנטלי נתפס כ־**פונקציית גל** שמכילה בתוכה סופרפוזיציה של עמדות, שיקולים, רגשות וזיכרונות, וכאשר נעשית הכרעה – מתבצעת **קריסת מצב** אל אפשרות אחת.

המודל הזה כולל בתוכו גם את **קריאת המציאות** (כגון: תוצאת מבחן, זכייה בהגרלה, תגובת אדם אחר), כאילו היא *חלק מהפונקציה עצמה.* כל גורם כזה, גם אם התרחש מחוץ לאדם, נחשב כחלק מהשיקולים שבתוך מצב העל, ולכן הוא משפיע על הקריסה בדיוק כפי שמשפיעים רגשות או תחושות פנימיות.

הבחנה מהותית: גישת הבחירה הקוונטית

מנגד, לפי גישת הבחירה הקוונטית שאנו מציגים במאמר זה, מוצע מבט מהותני ושונה באופן עמוק. אנו טוענים כי פונקציית הגל של הנפש איננה נובעת ממערך של שיקולים, מידע או אינטגרציה של הקשרים – אלא מבטאת את התנועה הפנימית של הנפש עצמה, כוחה

הפנימי של הבחירה.

הנפש נתפסת כישות שמכילה בתוכה דינמיקה מחזורית פנימית, שבה מתקיימים בו-זמנית רצונות סותרים, כפי שהארכנו להסביר לעיל. פונקציית הגל של הנפש מייצגת את הדינמיקה הלא-מודעת, הבחירית, שאינה נגזרת ממידע אלא מהמבנה העצמי של הנפש.

ומכאן ההבחנה העקרונית:

- בעוד ששיטת הקוגניציה הקוונטית משלבת את קריאת המציאות בתוך פונקציית הגל, משום שהיא רואה את כל המידע כחלק מהשיקולים שבתוך מצב העל.
- לפי גישת הבחירה הקוונטית, קריאת המציאות (למשל תוצאה של מבחן, תוצאה של הגרלה או החלטת יריב) אינה קשורה ישירות לדינמיקה הפנימית של הנפש ולכן אינה חלק מפונקציית הגל של הנפש, אלא מיוצגת על ידי פונקציה נפרדת – אותה נכנה פונקציית המציאות.

כך, אנו מבחינים בין:

1. פונקציית הנפש – המתארת את התנועה המחזורית הלא-מודעת שבנפש, אותה מייצרת הבחירה.
2. פונקציית המציאות – המתארת את הדרך בה התודעה מעריכה את הסיכוי של כל אפשרות להתרחש במציאות (זכיה בהגרלה, הצלחה במבחן וכד').

$$$ שלא כמו בקוגניציה הקוונטית, *קריאת המציאות* אינה נבלעת לתוך פונקציית הגל של הנפש, אלא מופיעה בנפרד כפונקציה העומדת בזכות עצמה - 'פונקצית המציאות'. במובן זה, פונקציית הנפש מגלמת את הבחירה החופשית; בעוד שפונקציית המציאות משקפת את הערכת התודעה את גבולות המציאות. שני מרכיבים אלו פועלים יחד בהכרעה בפועל, אך הם נפרדים במהותם ובמעמדם הלוגי.

סיכום ההבדלים

	גישת קוגניציה קוונטית	**גישת הבחירה הקוונטית**
מקור פונקציית הגל	אינטגרציה של כל הגורמים המשפיעים על קבלת ההחלטה –	נובעת מתנועה מחזורית פנימית של הנפש, המבטאת את הדינמיקה

	כולל הקשר, מידע מהמציאות, שיקולים סיבתיים וחוויות עבר.	הבחירית בנפש – ללא תלות במידע או הקשר חיצוני.
תפיסת הבחירה	ההכרעה מתקבלת מתוך קריסה של פונקציית גל מורכבת המשקללת את כל רכיבי ההקשר.	ההכרעה היא ביטוי פנימי של הנפש – הנפש יוצרת את ההכרעה מתוך עצמה.
מעמד קריאת המציאות (תוצאת מבחן וכד')	נבלעת בתוך פונקציית הגל – מהווה חלק מהמצבים האפשריים של הסופרפוזיציה.	מופרדת מפונקציית הגל – מהווה "פונקציית מציאות" נפרדת, שדרכה תודעת האדם מעריכה את התנאים החיצוניים.
הקשר בין חלק מודע ללא-מודע	שניהם מיוצגים באותו מרחב הילברט של פונקציית ההכרעה.	החלק הלא-מודע מיוצג כפונקציית גל מחזורית; החלק המודע פועל על פי הערכה רציונלית של המציאות. $$$

פונקצית הנפש ופונקצית המציאות

נזכר בנוסחת ההסתברות השלמה:

$$P(A) \ = \ \sum_i P(A|B_i)P(B_i)$$

כאמור, כל רכיב הסתברותי מורכב ממכפלה של:

1. $P(A|B_i)$ - ההסתברות שארוע A יקרה בהנתן אירוע B_i
2. $P(B_i)$ - ההסתברות שארוע B_i אכן יקרה.

כאשר אנו עוברים לתחום הנפש ולהסתברות של בחירה, במקום לשאול מה תהיה ההסתברות שארוע A יקרה בהנתן אירוע B_i, נשאל: מה 'הסתברות' **לבחור** A בהנתן שארוע B_i קרה או יקרה. בפרק הקודם הסברנו שחישוב של הסתברות להכריע נעשה על ידי פונקצית גל מחזורית, אותה כינינו "פונקצית המצב של הנפש" . לפי זה, הרכיב $P(A|B_i)$

יהיה מקביל לפונקצית המצב של הנפש (או בקיצור: "פונקצית הנפש"), שהיא פונקצית הגל φ_i, שהכרנו בפרקים הקודמים.

לעומת זאת, ההסתברות $P(B_i)$ שארוע B_i קרה או יקרה, אינה קשורה לבחירה אנושית כלל.

הסתברות זו קשורה לסיכוי שארוע מסוים יקרה במציאות או להערכת המציאות אצל האדם, כמה הוא מעריך שארוע B_i אכן קרה או יקרה. בהמשך נראה שהסתברות זו לא תמיד חייבת להיות קבועה, והיא יכולה להגזר מפונקציה אחרת אותה נסמן באות ϕ_i.

אם כן, בעוד שפונקצית הגל φ_i, תייצג עבורנו את היחס הבחירי בנפש האדם הבוחר (ביחס לאפשרות מציאותית), ϕ_i תייצג את הערכת האדם את קיומה של האפשרות במציאות.

לסיכום, נכנה את הפונקציות ϕ_i ו-φ_i 'פונקצית המציאות' ו'פונקצית הנפש' בהתאמה.

נעיר כי במקרה של מציאות אובייקטיבית (כמו ההסתברות לזכות בהגרלה וכד') תהיה ϕ_i שווה להסתברות שהארוע קרה או יקרה. לעומת זאת, במקרים בו המציאות עשויה להיות פחות אוביקטיבית, ϕ_i תיוצג על ידי פונקציה מתאימה. לדוגמא, במקרה של ניסוי ההגרלות, ϕ_i תהיה מספר קבוע השווה להסתברות לזכות בהגרלה הראשונה. לעומת זאת, בניסוי כרטיסי החופשה, ϕ_i תייצג הערכה ממוצעת של תלמידים של סיכוי לעבור את המבחן (לפי רמת הקושי של המבחן). בהמשך נראה שבמשחקי שיתוף פעולה כמו דילמת האסיר ומשחקים קופרטיבים נוספים, הפונקציה ϕ_i עשויה לקבל צורה של פונקציות רקורסיביות[8].

לאור האמור לעיל, נוכל כעת להכליל את משוואת ההסתברות הקוונטית כך שההסתברות שאפשרות תתממש במציאות תהיה שווה לסך הכל היחס הבחירי לכל אפשרות, כפי שאפשרות זו נתפסת בידי האדם. מבחינה מתמטית ננסח זאת כך:

$$P = |\Psi|^2 = |\sum_i \phi_i \varphi_i|^2$$

---

[8] שם נראה שגם פונקצית הנפש עשויה להשתנות מפונקציה טריגונומטרית לפונקציה הפרבולית

לפני שנעמיק בניתוח תוצאות ניסוי ההגרלות של טברסקי ושפיר, נציע דרך ייחודית להבין את התופעה שתיארו – אפקט הדיסיונקציה – דרך ניסוי מפורסם מהפיזיקה הקוונטית: ניסוי שני הסדקים. לשיטתנו, קיימת הקבלה בין האור לבין הנפש, ולכן נראה טבעי להשתמש בניסוי זה כדי להמחיש את האופן שבו מתנהלים מצבים של בחירה בנפש באופן כללי ובפרט בחירה במצבי אי-ודאות.

חוקרי הקוגניציה הקוונטית כבר הצביעו בעבר על קשר רעיוני בין ניסוי שני הסדקים לבין תופעות קוגניטיביות כמו אפקט הדיסיונקציה, בעיקר בגלל תופעת ההתאבכות המפתיעה שמופיעה בשני התחומים. עם זאת, בדרך כלל מדובר בדימוי חלקי בלבד, ולא בניסיון לייצר הקבלה מדויקת בין מבנה הניסוי הפיזיקלי לבין תהליכים נפשיים.

כאן נרצה ללכת צעד נוסף קדימה: לבנות הקבלה מלאה, שבה כל אחד מהמרכיבים של ניסוי שני הסדקים – האור, הסדקים והמסך – מקבל תרגום למושגים נפשיים. ניסוי זה ישמש אותנו כמודל שמאפשר לחשוב על הנפש כעל מערכת שבה מספר רצונות מתקיימים בו-זמנית (כמו גלים), ובמגע עם המציאות – כלומר ברגע של הכרעה – נוצר דפוס שמושפע מהתאבכות בין האפשרויות, ולא מהכרעה פשוטה וחד-משמעית.

באמצעות ההקבלה הזו נוכל להבין טוב יותר כיצד מצבים של חוסר ודאות משפיעים על תהליך הבחירה, וכיצד הרצון האנושי מגיב למידע – או להיעדרו – בצורה שאינה תמיד צפויה, אך כן ניתנת לתיאור על פי כלים מעולם ההסתברות הקוונטית.

נקח לדוגמא את ניסוי ההגרלות של טברסקי ושפיר ונתאים לו ניסוי הדומה לניסוי שני הסדקים באור. נעזר בניסוי שני סדקים מורכב יותר מהניסוי הקלאסי, כדי לשקף את הפרמטרים הנפשיים השונים. שני הסדקים בניסוי ייצגו את שתי האפשרויות: זכיה בהגרלה הראשונה, הפסד בהגרלה הראשונה. חלקיקי האור שעוברים בסדקים ייצגו את השחקנים השונים. השחקנים שהכריעו להמשיך להגרלה הבאה ייוצגו על ידי אותם חלקיקים שהגיעו לאזור המדידה על המסך, כפי שנפרט בהמשך.
כעת נפרט כיצד הפרמטרים השונים באים לידי ביטוי בניסוי שלנו. רוחב הסדקים ישמש המחשה לפונקציה המציאות. לפיכך, נקבע את רוחב כל סדק בהתאם להסתברות שהאפשרות אותה הוא מייצג תתרחש במציאות (זכיה או הפסד בהגרלה הראשונה). כמו כן,

על כל סדק יותקן מסנן אופטי שיעביר רק אחוז מסוים של האור. מסנן זה יקבע למעשה את משרעת הגל של פונקצית הנפש. אחוז האור שמועבר יקבע בהתאם לאחוזי השחקנים שהמשיכו להמר (בהגרלה השניה) במצבי הידיעה.

הניסוי מורכב מכמה שלבים:

1. **בשלב הראשון** - המדמה הכרעה של שחקן שיודע שזכה בהגרלה הראשונה - אור יעבור רק דרך סדק א', כאשר המסנן האופטי מעביר אחוז מהאור התואם לאחוזי המהמרים במצב של 'אחרי זכיה' (בהגרלה הראשונה).
2. **בשלב השני** של הניסוי - המדמה הכרעה של שחקן שיודע שהפסיד בהגרלה הראשונה - האור יעבור רק דרך סדק ב', כאשר המסנן יעביר אחוז של אור התואם לאחוזי המהמרים במצב השני של 'אחרי הפסד'.
3. **בשלב השלישי** של הניסוי - המדמה הכרעה של שחקן במצב של אי-ודאות לגבי ההגרלה הראשונה - נפתח את שני הסדקים (א' וב') יחד אך קודם נתאים את רוחב הסדקים להסתברות של כל אפשרות. לדוגמא, בניסוי ההגרלות הסיכויים שווים (לזכות ולהפסיד) ולכן נקטין כל סדק פי חצי. נדגיש שמקדמי ההעברה של המסננים אינם משתנים ותואמים את אחוזי המהמרים בכל אחד מהמצבים. בכל שלושת השלבים נמדוד את עוצמת האור על המסך באזור שמול רוחב הסדק הפתוח - וכאשר שני הסדקים פתוחים נמדוד את האזורים שמול שני הסדקים ונעשה ממוצע. $$$

כעת, אם נתרגם את הנתונים הסטטיסטיים של הניסוי לשיקוף של נפש של שחקן אחד, נאמר שאחוז השחקנים שהמשיכו להמר ישקף כמה רצון בנפש יש לשחקן אחד להמשיך להמר. כאשר השחקן נשאל כמה הוא רוצה להמשיך להמר, יתהוו בנפש השחקן שני סוגי רצון: רצון שלמעלה מטעם ודעת ורצון שעל-פי טעם ודעת. כאמור, הרצון שלמעלה מטעם ודעת משקף את הצד הבחירי של הנפש ונושא את שני ההפכים, לפיהם הוא גם רוצה להמר וגם לא רוצה, ואילו הרצון שלפי טעם ודעת שוקל **כמה** השחקן רוצה להמר באופן מודע בהנתן נתונים מסוימים.

במקרה בו כל הנתונים ידועים לשחקן (האם זכה בהגרלה הראשונה או הפסיד), נדמה את המקרה לניסוי הקרנת אור דרך סדק בודד. נניח שהשחקן יודע שזכה בהגרלה הראשונה, הרצון להמשיך להמר הוא כמו גלי האור, בעלי משרעת ופאזה, המתקדמים לעבר הסדק. יש 'אזור' בנפש בו השחקן מכריע להמשיך להמר, אזור זה מקביל לאזור המדידה על המסך. כאשר יש רק סדק אחד פתוח, כל האור שמגיע לאזור המדידה מול הסדק מגיע באותה

פאזה. לכן, במצב זה המדידה תושפע רק מהמשרעת ולא מהפאזה. בנפש, המשמעות היא שההסתברות להכריע להמר תושפע רק מהמרצון הגלוי ולא מהנסתר.

לעומת זאת, המצב בו השחקנים לא יודעים אם זכו או הפסידו, מקביל לניסוי בו שני הסדקים פתוחים. כאשר שני הסדקים פתוחים, הגלים שמגיעים לנקודת המדידה עשויים להתאבך ובכך להטות את ההסתברות של חלקיק להגיע לשם. כאמור, מספר החלקיקים שעוברים את הסדקים ומגיעים לאזור המדידה במסך, מייצג את גודל הרצון להמר או את ההסתברות להמשיך להמר. כאשר מתקבלת התאבכות וריכוז החלקיקים קטן, המשמעות היא שיש ירידה ברצון להמר בעקבות התערבות בין הרצונות של שני המצבים השונים (שכל סדק מייצג). התערבות זו קשורה דווקא לרצון הלא מודע בנפש, שבמשל משתקף בפאזה של הגלים. הרצון הלא מודע בנפש הוא כמו גל בעל טבע מחזורי שמגיע למסך - נקודת ההכרעה - בפאזה מסוימת. כאשר הגלים נפגשים באזור המדידה בפאזות הפוכות, המשרעת שמתקבלת מקוזזת וממילא ההסתברות של חלקיק להגיע לשם קטן. כמו כן, מתרחשת התאבכות ברצון הלא מודע של השחקן המשפיעה על ההסתברות להכריע להמר - כפי שנבאר בהמשך. כמו שבמשל של האור, שני הסדקים חושפים את הטבע הגלי של האור, ככה בנמשל של הנפש, מצב של אי-ודאות חושף את הטבע הגלי של הרצון הלא מודע בנפש. הנפש רוצה לבטא את שני הרבדים בנפש, הבחירי הלא-מודע והמודע המחושב. לכן, לא נוכל לחשב מראש את ההכרעה שתתקבל אלא רק לצפות סדר גודל של הסתברות עבור כל אפשרות של הכרעה.

במשל, הסדק הוא הציור העצמי של האדם – האופן שבו הוא מדמיין את עצמו בהקשר בו מתקבלת ההחלטה. לדוגמה, האם האדם רואה את עצמו כמנצח או כמפסיד בהגרלה, (עיין בפרק ?? שם נראה מקרים מורכבים יותר שהאדם עשוי לראות את עצמו במצבים שונים, כגון, הקשר משפחתי שונה ועוד). האור שעובר דרך הסדק מייצג את הרצון – את הדרך בה הנפש רוצה להתבטא - בהתאם לציור הזה. לדוגמא, כאשר אדם מצייר את עצמו כמנצח, הרצון שמתעורר בו הוא ביטוי של נפש בתור אחת שרוצה להמשיך לנצח ולהרוויח. לעומת זאת, כאשר הציור העצמי הוא של כישלון, הרצון יהיה אחר, כגון רצון לפצות או לצמצם נזקים וכד'.

רוחב הסדק מייצג את עוצמת הציור הזה בנפש. ככל שהאדם חש שהציור העצמי הזה קרוב למציאות – כלומר, שהוא "יכול להאמין" בו – כך הסדק רחב יותר, והרצון מאיר דרכו בעוצמה גדולה יותר. אך אם הציור הוא רחוק או דמיוני בעיניו, הסדק צר, והרצון מאיר דרכו בקושי, לעיתים עד כדי חסימה מוחלטת.

נסכם את הקבלת ניסוי ההגרלות לניסוי שני הסדקים ונפרט את חישובי ההסתברות הכלליים.
יש לנו שלושה מצבים אפשריים:

1) השחקן יודע שזכה בהגרלה הראשונה: ישנו סדק אחד פתוח ואזור מדידה מול הסדק. רוחב הסדק הוא אחד ועל הסדק מותקן מסנן אופטי עם מקדם העברה T_1. נסמן את הפאזה בה האור מגיע לאזור המדידה ב-r_1. מקדם העברה שווה לאחוז השחקנים שבחרו להמשיך להגרלה הבאה על דעת זה שזכו בהגרלה הראשונה. על בסיס אחוזים אלו נוכל להסיק שחישוב ההסתברות ששחקן כלשהו שזכה בהגרלה הראשונה ימשיך לשניה מקביל לחישוב ההסתברות שהחלקיק יגיע מהסדק לאזור המדידה מול הסדק.

משוואת הגל במקרה זה תהיה: $\varphi_1 = \sqrt{T_1}e^{ir_1}$

ההסתברות למציאת חלקיק באזור המדידה יהיה: $P = |\varphi_1|^2 = T_1$

2) השחקן יודע שהפסיד בהגרלה הראשונה: גם כאן ישנו סדק אחד פתוח ואזור מדידה מול הסדק. רוחב הסדק הוא אחד ועל הסדק מותקן מסנן אופטי עם מקדם העברה T_2 . נסמן את הפאזה בה האור מגיע לאזור המדידה ב-r_2. מקדם העברה שווה לאחוז השחקנים שבחרו להמשיך להגרלה הבאה על דעת זה שהפסידו בהגרלה הראשונה. כאן, ההסתברות ששחקן כלשהו שהפסיד בהגרלה הראשונה ימשיך לשניה מקביל לחישוב ההסתברות שהחלקיק יגיע מהסדק לאזור המדידה מול הסדק.

משוואת הגל במקרה זה תהיה: $\varphi_2 = \sqrt{T_2}e^{ir_2}$

ההסתברות למציאת חלקיק באזור המדידה יהיה: $P = |\varphi_2|^2 = T_2$

3) השחקן לא יודע אם זכה או הפסיד בהגרלה הראשונה: כאן יש שני סדקים פתוחים ומחשבים את ממוצע הפגיעות באזורים מול שני הסדקים. נסמן את רוחב סדק א' ב-A ורוחב סדק ב' ב-B. גדלים A ו-B נקבעים לפי ההסתברות לזכות או להפסיד בהגרלה הראשונה. במקרה בו אנו עוסקים ההגרלות היו עם סיכוי שווה לזכות ולהפסיד לכן כל סדק יהיה חצי מהגודל של הסדק הבודד שהוזכר בסעיפים הקודמים. מקדם ההעברה בסדק 1 יהיה T_1 ואילו בסדק 2 יהיה T_2. במצב זה, בו שני הסדקים פתוחים נקבל

התאבכות מול שני הסדקים. באור, חלק מהחלקיקים שהיו אמורים להגיע לאזור מול הסדקים יגיעו לאזור אחר במסך (בתנאים סטנדרטיים - למרכז המסך). בניסוי של ההגרלות, התאבכות זו תגרום לחלק מהשחקנים שרצו להמשיך להגרלה הנוספת במצבי הידיעה לא להמשיך.

משוואת הגל מסדק א' תהיה: $\varphi_1 = A\sqrt{T_1}e^{ir_1}$

משוואת הגל מסדק ב' תהיה: $\varphi_2 = B\sqrt{T_2}e^{ir_2}$

ההסתברות למציאת חלקיק באזור המדידה יהיה:

$$P = |\Psi|^2 = |\varphi_1 + \varphi_2|^2 = \left(A\sqrt{T_1}\right)^2 + \left(B\sqrt{T_2}\right)^2 + (e^{i(r_1-r_2)} + e^{i(r_1-r_2)})$$

$$\Rightarrow P = A^2T_1 + B^2T_2 + 2\left(AB\sqrt{T_1T_2}\right)cos(r_1 - r_2)$$

ניסוי ההגרלות של טברסקי-שפיר

נזכר במחקר שערכו טברסקי ושפיר במקרה של ההגרלות. להלן טבלת אחוזי המהמרים (בהגרלה השניה) בכל קבוצה:

קבוצת קונים	**אחוזי מהמרים**
שחקנים שזכו בהגרלה הראשונה	69%
שחקנים שהפסידו בהגרלה הראשונה	59%
שחקנים שלא יודעים אם זכו או הפסידו	36%
סטיה מהממוצע הרציונאלי:	28%

מכיון שסיכויי הזכיה וההפסד בהגרלה הראשונה שווים, נוכל להגדיר את פונקציות המציאות ϕ כקבועות:

$$\phi_1 = \phi_2 = \frac{1}{2}$$

נגדיר שתי פונקציות גל מרוכבות עבור הרצון להמשיך להמר בכל אחד מהמקרים (שזכה ושהפסיד בהתאמה):

$$\varphi_1 = \sqrt{0.69}\, e^{ir_1};\ \varphi_2 = \sqrt{0.59}\, e^{ir_2}$$

לכן ההסתברות להמשיך להמר אצל שחקן שלא יודע אם זכה או הפסיד תהיה:

$$P_{1+2}(x) = |\phi_1\varphi_1 + \phi_2\varphi_2|^2$$

$$P_{1+2} = \frac{1}{4} \cdot 0.69 + \frac{1}{4} \cdot 0.59 + \frac{1}{4} \cdot \sqrt{0.54}\, e^{ir_1}\sqrt{0.57}\, e^{-ir_2} + \frac{1}{4} \cdot \sqrt{0.57}\, e^{ir_2}\sqrt{0.54}\, e^{-r_1}$$

$$P_{1+2} = 0.32 + \frac{1}{2} \cdot \sqrt{0.69 \cdot 0.59} \cdot cos(r_1 - r_2)$$

לפי הנתונים בטבלה:

$$0.36 = 0.32 + \frac{1}{2} \cdot \sqrt{0.69 \cdot 0.59} \cdot cos(r_1 - r_2)$$

לכן:

$$cos(r_1 - r_2) = 0.125 \rightarrow r_1 - r_2 = 82.7^{\circ}$$

כלומר, ישנו הפרש פאזה של 82.7°.

המשמעות הנפשית של גורם ההתאבכות

גורם הסטיה או גורם ההתאבכות הוא תוצאה של הטבע המחזורי של הנפש. אם הנפש לא היתה מתנהגת באופן מחזורי והתענוג והרצון של הנפש לא היו נפרשים על מימדים שונים, לא היתה אפשרות לקבל הפרש פאזה, ומימלא גורם סטיה. העובדה שהבחירה של האדם באה לידי ביטוי בכך שיש לו תענוג גם מלא להיות מוכרח להתענג, ושהרצון יכול להשאר בכח, מולידה מרחב נפשי המבטא הפכים בתוך הנפש.

משמעות הדברים היא, שכאשר אדם בוחר להמר, בחירה זו לא רק מבטאת את התענוג שלו מלהמר אלא גם את התענוג שיש לו מלא להיות מוכרח להתענג מהימורים. הפרש פאזה של 82.7 מעלות מצביעה על כך שתפיסת התענוג מהימורים במצב של זכיה הפוכה במידה רבה מהתענוג מהימורים במצב של הפסד, ודוקא התענוג מלא להיות מוכרח להמר על הצד שהוא

לא זכה בהגרלה הראשונה, מתלכד במידה רבה עם התענוג מלהמר אם הוא כן זכה בהגרלה הראשונה, וכן להפך.

במילים אחרות, גורם ההתאבכות חושף בפנינו את האופי הרב מימדי של הנפש (הכולל תענוג ורצון), ואת העובדה שבכל הכרעה מגולם לא רק תענוג ממימוש ההכרעה במציאות, אלא גם התענוג מחופש הבחירה. הנפש חפצה להביע את עצמה בשלמות, ולכן אין לראות בהכרעה להתממש במציאות רק ביטוי של התענוג שלה והמשיכה שלה למציאות אלא גם כביטוי של התענוג שלה מלא להיות מוכרחת להתלבש במציאות.

אלגוריתם לבדיקת נכונות המשוואות

כדי לבדוק האם המשוואות שהצענו אכן מתאימות לתאר את הבחירה בנפש, נציג אלגוריתם שיאפשר לנבא תוצאות בניסויים אנושיים שונים וכך נוכל לבדוק את רמת ההתאמה של המשוואות.

משוואת הגל מסדק א' תהיה: $\varphi_1 = A\sqrt{T_1}e^{ir_1}$

משוואת הגל מסדק ב' תהיה: $\varphi_2 = B\sqrt{T_2}e^{ir_2}$

נזכר בהגדרת משוואת הגל שהצענו בפרק שעסק בניסוי שני הסדקים:

משוואת הגל מסדק א' תהיה: $\varphi_1 = A\sqrt{T_1}e^{ir_1}$

בהשוואה לחלוקת פונקצית הנפש ופונקצית המציאות נוכל לחלק את פונקצית הגל כך:

פונקצית המציאות: $\phi = \frac{A}{(A+B)}$

פונקצית הנפש: $\varphi = \sqrt{T_1}e^{ir_1}$

לדוגמא, אם נשווה לניסוי ההגרלות, פונקצית המציאות תתאר הסתברות של 0.5 של זכיה ו-0.5 של הפסד. לפיכך, $A, B = 0.5$ ולכן נקבל:

$$\phi_1 = \phi_2 = \frac{0.5}{(0.5+0.5)} = \frac{1}{2}$$

לעומת זאת, פונקצית הנפש תתאר את ההסתברות של שחקן להמר במקרה שזכה/הפסיד בהגרלה הראשונה. לפיכך, מקדמי ההעברה T_1 ו- T_2 ישקפו הסתברויות אלו באופן שככל שההסתברות גדולה יותר (הרצון גדול יותר), כך גם המקדם.

לכן, נתאר את פונקציות הנפש כך:

$$\varphi_1 = \sqrt{T_1}e^{ir_1} = \sqrt{0.69} \cdot e^{ir_1}$$

$$\varphi_2 = \sqrt{T_2}e^{ir_2} = \sqrt{0.59} \cdot e^{ir_2}$$

כעת נציב פונקציות אלו בנוסחת ההסתברות הקוונטית ונעזר בפיתוח שעשינו לעיל:

$$P = |\Psi|^2 = |\phi_1\varphi_1 + \phi_2\varphi_2|^2 =$$

$$P_{1+2} = 0.32 + \frac{1}{4} \cdot \sqrt{0.69 \cdot 0.59} \, (e^{i(r_1 - r_2)} + e^{i(r_1 - r_2)})=$$

אם נגדיר את הפרש הפאזה בתור $k = r_1 - r_2$ נוכל לכתוב:

$$0.36 = 0.32 + \frac{1}{2} \cdot \sqrt{0.69 \cdot 0.59} \cdot cos(k)$$

נחלץ את הפרש הפאזה k ונמצא ש: $k \approx 82.7$. כעת, נוכל לנסות להשאיר את k קבוע ולשנות כל פעם פרמטרים שונים (A, B, T_1, T_2) ולראות האם מתקבלות התוצאות המבוקשות.

השוואת מדידות

נקדים כי אנו מניחים בחישוב זה שתי הנחות יסודיות:

א. בקשר עם פונקצית המציאות: הממוצע (בין משתתפי הניסוי) של הערכת הסתברות של כל אחת מהאפשרויות להתממש שואף לתאור האמיתי שלה במציאות. לדוגמא, בקשר עם ניסוי ההגרלות, ממוצע הערכת המציאות אצל השחקנים שלא יודעים אם הם זכו או הפסידו בהגרלה הראשונה, ישאף ל-50%. בסימנים שהשתמשנו לעיל: $\phi_1 \rightarrow \frac{1}{2}$

ב. בקשר עם פונקצית הנפש: הממוצע של התחלקות הרצונות אצל אנשים שאינם מודעים למצבם (מצב אי-ידיעה) שואף להתחלקות של אלו שמודעים. לדוגמא, בקשר עם ניסוי ההגרלות, אם בפועל מספר המהמרים אצל השחקנים שזכו עומד על 69% אז ממוצע מידת הרצון אצל אלו שלא יודעים אם זכו ישאף גם הוא ל-69%. בסימנים שהשתמשנו לעיל: $T_1 \rightarrow \sqrt{0.69}$.

כעת, אם נוכל לשחזר את ניסוי ההגרלות אך עבור הגרלה שבה ההסתברות לזכיה גדולה יותר (לדוגמא 90%), נוכל לבדוק האם המשוואה הקוונטית מסוגלת לנבא את מספר המהמרים במצב אי-ידיעה, באופן הבא:

ראשית, נצפה שפונקצית המציאות יהיו -

$$\phi_1 = 0.9$$

$$\phi_2 = 0.1$$

כעת נציב את שאר הנתונים ללא שינוי ונצפה לקבל שאחוז הקונים יהיה:

$$\left(0.9 \cdot \sqrt{0.69}\right)^2 + \left(0.1 \cdot \sqrt{0.59}\right)^2 + 2\left(0.1 \cdot 0.9 \cdot \sqrt{0.69 \cdot 0.59}\right)cos[82.7] = 0.58$$

כלומר, כאשר הודאות לגבי הצלחה במבחן עולה גם מספר המהמרים צפוי לעלות, אם כי הוא עדיין פחות מהממוצע הרציונאלי. לפי זה, אנו צופים כי אפילו ספק יחסית קטן, מייצר התאבכות של כ-6%.

כמו כן, אם נצליח לשחזר את ניסוי ההגרלות הראשון אך עם אחוזי מהמרים שונים (לדוגמא על ידי הגדלת סכום הזכיה), נוכל לבדוק את השפעת השינויים בפונקצית הנפש. לדוגמא, אם נמצא ש-90% מהשחקנים שזכו קנו, ואילו מאלו שהפסידו קנו רק 50% מהתלמידים, אז נצפה שפונקציות הנפש יתעדכנו באופן הבא:

$$\varphi_1 = \sqrt{0.9} \cdot e^{ir_1}$$

$$\varphi_2 = \sqrt{0.5} \cdot e^{ir_2}$$

ולכן אחוז הקונים יהיה:

$$\left(0.5 \cdot \sqrt{0.9}\right)^2 + \left(0.5 \cdot \sqrt{0.5}\right)^2 + 2\left(0.5 \cdot 0.5 \cdot \sqrt{0.9 \cdot 0.5}\right)cos[82.7] = 0.39$$

כלומר, במצב בו רוב של 90% מאלו שעוברים קונים כרטיסי חופשה, אחוז הקונים במצב אי-ידיעה אכן עולה, אם כי עדיין קיימת השפעה גדולה מאוד של ההתאבכות.

חישוב ההסתברות המשלימה

כעת נשאל: מה היה קורה אילו במקום לחשב את הסטיה עבור קבוצת המהמרים, היינו מחשבים עבור קבוצת הפורשים? נתבונן בטבלת אחוזי הפורשים:

קבוצת קונים	אחוזי הפורשים
שחקנים שזכו בהגרלה הראשונה	31%
שחקנים שהפסידו בהגרלה הראשונה	41%
שחקנים שלא יודעים אם זכו או הפסידו	64%

סטיה מהממוצע הרציונאלי:	28%

פונקציות המציאות לא ישתנו:

$$\phi_1 = \phi_2 = \frac{1}{2}$$

נגדיר שתי פונקציות גל מרוכבות עבור הרצון לפרוש בכל אחד מהמקרים (שזכה ושהפסיד בהתאמה):

$$\varphi_1 = \sqrt{0.31}\, e^{ir_1};\ \varphi_2 = \sqrt{0.41}\, e^{ir_2}$$

לכן ההסתברות להמשיך להמר אצל שחקן שלא יודע אם זכה או הפסיד תהיה:

$$P_{1+2}(x) = |\phi_1\varphi_1 + \phi_2\varphi_2|^2$$

$$P_{1+2} = \frac{1}{4}\cdot 0.31 + \frac{1}{4}\cdot 0.41 + \frac{1}{2}\sqrt{0.31\cdot 0.41}cos(k) = 0.64$$

$$cos(k) \approx 2.58$$

מכיון שפונקצית הקוסינוס אינה נותנת ערכים הגדולים מ-1 לא נוכל לחשב הפרש פאזה עבור ערכי הפורשים. ניתן להראות שבכל סיטואציה שבה יש אי-ודאות בין שתי אפשרויות, נוכל לחשב באמצעות משוואת ההתאבכות רק הכרעה אחת ואילו ההכרעה השניה לא תהיה ניתנת לחישוב באמצעות משוואת ההתאבכות. כיצד ניתן להבין זאת בהקשר של ניסוי שני הסדקים?

כפי שהסברנו, נוסחת הבחירה הקוונטית, מציגה את ההסתברות של חלקיק להגיע לאזור מול סדק א' כאשר יש שני סדקים פתוחים. לעומת זאת, כדי לחשב את ההסתברות של חלקיק לא להגיע לאזור מול הסדק, אלא לאזורים אחרים, נחשב את ההפרש: אחד פחות ההסתברות להגיע לאזור מול הסדק.

נחזור על תאור הניסוי: בשלב הראשון (רק) סדק א' פתוח לגמרי ואז יש לחלקיק מאה אחוז הסתברות להגיע לאזור במסך מול סדק זה. בשלב ב' אנו מקטינים את סדק א' ופותחים את סדק ב', כאשר גודלו שווה לגודל בו הקטנו את סדק א'. בנוסף, אנו מתקינים על סדק א' מסנן אופטי עם מקדם מעבר השווה לשורש הסתברות להכרעה א' ועל סדק ב' מסנן אופטי עם מקדם מעבר השווה לשורש הסתברות להכרעה ב'. כעת, ההסתברות של פוטון להגיע לאותו אזור מול סדק א', תהיה תוצאה של ההתאבכות המחושבת בנוסחת הבחירה הקוונטית. עוצמת האור מול הסדק בשלב השני תמיד תהיה קטנה מעוצמת האור מול הסדק בשלב

הראשון. כלומר, מה שגדל במעבר בין השלבים הוא החושך. הנוסחה מחשבת את עוצמת האור שקטן אך כדי לחשב את החושך שגדל צריך להחסיר את עוצמת האור המוחלש שבשלב השני מהאור החזק שבשלב הראשון.
לפי זה, אם נחזור לניסוי ההגרלות, ההסתברות לפרוש מייצגת את כל הפוטונים שיכלו להגיע לאזור המדידה בשלב א' של ניסוי שני הסדקים אך לא הגיעו בגלל השינויים שערכנו בניסוי. ממילא יוצא שאנו מודדים את האור שהגיע למסך - השחקנים שהכריעו להמר - ואילו את האור שלא הגיע למסך אנחנו - השחקנים הפורשים - אנו מחשבים על פי אחוזי המהמרים. בפרק הבא נפגוש את המקרה של משחקי שיתוף פעולה. במקרים אלו, אין מהלך אקטיבי ומהלך פסיבי ושם אכן מתקיימת דינמיקה המאפשר למדוד ישירות את ההסתברות של כל אחד מהמהלכים (ולא רק צד אחד ו'משלים').

השוואה לקוגניציה הקוונטית

כדי להמחיש את ההבדל בין גישת הבחירה הקוונטית לקוגניציה הקוונטית, נציג את האלגוריתם החישובי של הקוגניציה הקוונטית בהקשר של מקרה ההגרלות. לפי הקוגניציה הקוונטית, נגדיר שתי פונקציות גל מרוכבות עבור כל אחד מהמצבים (שהשחקן זכה בהגרלה ושהוא הפסיד, בהתאמה). הקוגניציה הקוונטית לא מחלקת בין פונקצית נפש לפונקצית מציאות, לכן משרעת כל גל תהיה שווה לשורש של מכפלת ההסתברות לנצחון/הפסד בהגרלה הראשונה באחוזי השחקנים שהמשיכו בכל אחד מהמצבים. מכיון שההסתברות שניצח/הפסיד בהגרלה הראשונה היא 50% - 50% נקבל את המשוואת הבאות:

$$\varphi_1 = \sqrt{\frac{1}{2} \cdot 0.69}\, e^{ir_1};\ \varphi_2 = \sqrt{\frac{1}{2} \cdot 0.59}\, e^{ir_2}$$

לכן ההסתברות להמשיך להמר אצל שחקן שלא יודע אם זכה או הפסיד תהיה:

$$P_{1+2}(x) = |\varphi_1 + \varphi_2|^2$$

$$P_{1+2} = \frac{1}{2} \cdot 0.69 + \frac{1}{2} \cdot 0.59 + \sqrt{0.69 \cdot 0.59} \cdot cos(r_2 - r_1) = 0.36$$

$$cos(r_2 - r_1) \approx -0.438 \rightarrow r_2 - r_1 = 116.02$$

אם כן, קבלנו הפרש פאזה של 116.02 מעלות.

בשונה מהבחירה הקוונטית, לפי הקוגניציה הקוונטית ניתן לחשב הפרש פאזה גם עבור הזוג המשלים:

$$\varphi_1 = \sqrt{\frac{1}{2} \cdot 0.31}\, e^{ir_1} ; \ \varphi_2 = \sqrt{\frac{1}{2} \cdot 0.41}\, e^{ir_2}$$

$$P_{1+2} = \frac{1}{2} \cdot 0.31 + \frac{1}{2} \cdot 0.41 + \sqrt{0.31 \cdot 0.41} \cdot cos(r_2 - r_1) = 0.64$$

$$cos(r_2 - r_1) \approx 0.785 \rightarrow r_2 - r_1 = 38.24$$

אם כן, לפי הקוגניציה הקוונטית ניתן לחשב את שני צידי ההכרעה (לפרוש ולהמשיך להגרלה הבאה), כאשר עבור כל צד יתקבל הפרש פאזה שונה. כפי שראינו, לפי הבחירה הקוונטית ניתן לחשב רק צד אחד ואילו הצד השני הוא למעשה המשלים.

כיוונים למחקר

ניסוי שני הסדקים וההשוואה לתהליך קבלת ההחלטות פותח פתח לכיווני מחקר אודות תהליך זה והגורמים המשפיעים עליו. כמו כן, ההפרדה של נוסחת ההסתברות לפונקציה שמשקפת את הנפש ופונקציה שמשקפת את תפיסת המציאות, מאפשרת בחינה של גורמי השפעה על מקבלי החלטות. על ידי ניסויים מתאימים, ניתן לבחון, לאמת ולדייק את השימוש במשוואות ההסתברותיות שהצענו לעיל.

נציע כמה כיוונים כללים למחקר:

1. השפעה על פונקצית המציאות - כיצד הערכת המציאות של הבוחר משפיעה על פונקצית המציאות ועל ההחלטות במצבי אי-ודאות. על מנת לבדוק זאת, נוכל לשנות את ההסתברות לכל אפשרות ולידע את השחקנים על כך (לדוגמא בניסוי ההגרלות ניתן לערוך את ההגרלה הראשונה עם סיכויי זכיה שונים כל פעם ולבדוק את ההשפעה על הכרעת השחקנים בהגרלה השניה).
2. השפעה על פונקצית הנפש - באלו אופנים ניתן להשפיע על פונקצית הנפש? האם ניתן להשפיע רק על עוצמת הרצון (המשרעת) או גם על המחזוריות של הרצון (הפאזה)? לדוגמא, בניסוי הכרטיסים, אם נוריד את מחיר הכרטיסים נוכל להשפיע על עוצמת הרצון לקנות כרטיס. לעומת זאת, אם נייצר חופשה יותר 'מפתה' תשתנה

המחזוריות בנפש שבין היסחפות לקנות את החופשה לרצון 'לא-להסחף' ומכך יושפע הפרש הפאזות.

3. ריבוי אפשרויות - כיצד הגדלת אי-הודאות על ידי ריבוי אפשרויות משפיעה על אפקט הדיסיונקציה (עוצמת ההתאבכות)? בהקשר של ניסוי ההגרלות, נוכל לייצר הגרלה עם מספר אפשרויות זכיה/הפסד בתור הגרלה ראשונה כך שאי-הודאות היא לגבי יותר מ-2 אפשרויות. לאחר מכן, נוכל להשוות את ההכרעות שמתקבלות ביחס למספר האפשרויות הקיימות.

פרק ד' - אינטראקציה בין בעלי בחירה

דילמת האסיר ושימוש בפונקצית המציאות

דילמת האסיר מוצגת בתורת המשחקים בגרסאות שונות, אך הרעיון הכללי הוא כדלהלן: המשטרה עצרה שני עבריינים שביצעו פשע משותף, ומפרידה ביניהם לצורך חקירה. אם תצליח המשטרה להביא להרשעתם, ייכנס כל אחד מהם לכלא ל-10 שנים, אך בחוסר ראיות הם יאסרו למשך חצי שנה מכח האשמות צדדיות. למשטרה אין די ראיות להעמידם לדין, ולכן היא מציעה לכל אחד מהם להעיד נגד רעהו, וכפרס מובטח לעד עונש מופחת: אם שני האסירים יקבלו את הצעת המשטרה, ייכנס כל אחד מהם לכלא ל-5 שנים, ואם רק אחד מהם יעיד ורעהו ישתוק, העד יצא מיד לחופשי וחברו ייכלא ל-10 שנים. ניתן לסכם סיטואציה זו בטבלה הבאה, שמסכמת את העונשים שייגזרו על אסיר א' ואסיר ב' בהתאם לפעולתם:

אסיר א' \ אסיר ב'	אסיר ב' - מלשין	אסיר ב' - שותק
אסיר א' - מלשין	5 שנים \ 5 שנים	0 שנים \ 10 שנים
אסיר א' - שותק	10 שנים \ 0 שנים	0.5 שנים \ 0.5 שנים

להלשין או לשתוק

אנו מניחים שכל העובדות הללו ידועות לשני האסירים, אך אין באפשרותם לתקשר אחד עם השני. לכן, מבלי לצלול לעומקה של תורת המשחקים, נוכל לחשב במשחקים פשוטים את התועלת (U) של אסטרטגיה מסוימת (i) במשחק, כסכום ($\sum_i$) של מכפלת הרווח של כל בחירה (x) במכפלות ($\prod_k$) הסתברות (p) של כל הבחירות המובילות לאותה בחירה או התפלגות הבחירות במשחק חוזר:

$$U_i = \sum_i x_i \prod_k p_k$$

במשחקים פשוטים עם בחירה אחת לא ידועה, הנוסחה הנ"ל תצטמצם ל:

$$U_i = \sum_i x_i p_i$$

לכן בדילמת האסיר, אם נציין את הרווח במספרים שליליים (מכיון שמדובר בענישה או הפסדים), התועלת מלהלשין תהיה:

$$U_{\text{להלשין}} = -5 \cdot \frac{1}{2} + 0 \cdot \frac{1}{2} = -2.5$$

ואילו התועלת מלשתוק (לשתף פעולה) תהיה:

$$U_{\text{לשתוק}} = -10 \cdot \frac{1}{2} - 0.5 \cdot \frac{1}{2} = -5.25$$

מכיון ש:

$$-2.5 > -5.25$$

ניכר כי התועלת מהלשנה גדולה מהתועלת מלשתוק. אמנם התועלת מהלשנה קטנה מהרווח הפונציאלי שניתן להפיק משיתוף פעולה (כלומר שתיקה של שני השחקנים):

$$0 > -2.5$$

אם כן, כאשר הדילמה שעומדת בפני כל אחד מהם היא "איזו אסטרטגיה לנקוט - לשתוק או להלשין?" - אסיר א' מסתכל בטבלה וחושב: "בלי קשר לאסטרטגיה שבה יבחר ב', כדאי לי להלשין, משום שבכל מקרה אם אלשין, עונשי יהיה קטן מאשר אם אשתוק" ולפיכך "הלשנה" היא אסטרטגיה מנצחת עבורו. גם אסיר ב' מנתח את המצב בצורה דומה. החלטה רציונלית של שניהם מובילה לכך ששניהם בוחרים להלשין, ונכנסים לכלא לחמש שנים. אילו שתקו שניהם, היה כל אחד מהם נכנס לכלא לחצי שנה בלבד. כלומר, החלטה רציונלית מביאה לתוצאה שאינה הטובה ביותר. כדי להגיע לתוצאה הטובה ביותר עבור שניהם נדרשים השחקנים לשיתוף פעולה (קרי, שתיקה של שניהם), אך מכיוון שדרך הפעולה המשתלמת יותר לכל שחקן לבדו היא תמיד לא לשתף פעולה עם השני (כלומר, להלשין), בוחר כל אחד מהשחקנים לא לשתף פעולה.

חישובי תועלת במציאות

אנו מעוניינים להשוות את ההכרעה המציאותית של בני אדם בדילמת האסיר במצב אי-ידיעה להכרעות שלהם כאשר הם יודעים מה השחקן השני בחר. ניסוי כזה אכן נערך ותוצאותיו מוצגים בטבלה להלן:

ידיעה לגבי שחקן ב':	כמה שחקנים הלשינו	כמה שחקנים שתקו
כאשר ידוע ששחקן ב' הלשין	82.3%	17.7%
כאשר ידוע ששחקן ב' שתק	39.1%	60.9%
כאשר בחירת שחקן ב' לא ידועה	64.5%	35.5%
ממוצע רציונלי:	60.7%	39.3%
סטיה מהממוצע הרציונאלי:	3.8%	3.8%

בשלב ראשון נניח ששחקן ממוצע מעריך שהשחקן השני ינקוט באסטרטגיות של שתיקה והלשנה באופן שווה. לכן, נגדיר את פונקציות המציאות ϕ כקבועות:

$$\phi_1 = \phi_2 = \frac{1}{2}$$

נגדיר שתי פונקציות גל מרוכבות עבור הרצון לשתוק בהנתן הלשנה או שתיקה של השחקן השני בהתאם:

$$\varphi_1 = \sqrt{0.177}\, e^{it_1};\ \varphi_2 = \sqrt{0.609}\, e^{it_2}$$

ההסתברויות במצבי ידיעה יתנו כמובן:

$$P_1 = |\sqrt{0.177}\, e^{it_1}|^2 = 0.177\,; P_2 = |\sqrt{0.609}\, e^{it_2}|^2 = 0.609$$

לפי זה, ההסתברות לשתוק כאשר לא ידועה האסטרטגיה של השחקן השני תהיה:

$$P_{1+2} = |\frac{1}{2}\sqrt{0.177}\, e^{it_1} + \frac{1}{2}\sqrt{0.609}\, e^{it_2}|^2$$

$$P_{1+2} = \frac{1}{4}\cdot 0.177 + \frac{1}{4}\cdot 0.609 + \frac{1}{2}\sqrt{0.177\cdot 0.609}\cdot cos(t_1 - t_2)$$

$$P_{1+2} = 0.1965 + 0.164\cdot cos(t_1 - t_2) = 0.355$$

$$t_1 - t_2 = arccos(0.966) \approx 14.8^{\circ}$$

החישוב הנ"ל מנסה להסביר את הסטיה באופן דומה להסבר שהוצג במקרה של הכרטיסים. לדעתנו, חישוב זה אינו משקף נכון את הנפש - אלא 'מסדר' באופן שרירותי-טכני את הנתונים. ברצוננו להציע צורת חישוב אחרת, לפי כמה הנחות טבעיות פשוטות. נדגיש כי אין כאן כמובן ראיה לשום צד וההצעה מבוססת על הסברים פסיכולוגים פשוטים והגיוניים, לפי מבנה הנפש שתואר במאמר עד כה.

התנהגות מחושבת

השחקנים בדילמת האסיר מתמודדים עם מצב של איום ולכן התנהגותם מחושבת יותר. התנהגות מחושבת בטבעה נוטה להיות פחות בחירית ויותר סיבתית. במצב של איום, הנפש פחות מנסה לבטא את עצמה ואת הבחירה שלה ויותר מנסה לחשב כיצד נכון להתנהג בהנתן הנסיבות. לכן, לדעתנו נכון במקרים של התנהגות מחושבת לתאר את הנפש רק באמצעות נוסחת ההסתברות השלמה. לפי זה, הסטיה של 3.8% אינה תוצאה של התאבכות באי-ידיעה, אלא של הערכה הסתברותית מושכלת.

לפי גישה זו, נצפה ששחקן תחת איום ינסה לדייק כמה שיותר את קריאת מהלכי היריב ולנסות לצפות את ההסתברות שהיריב ישתוק או ילשין. לכן, נתאר את ההסתברות להלשנה או לשתיקה באמצעות שימוש כפול של נוסחת ההסברות השלמה:

$$P(A) = \sum_i P(A|B_i)P(B_i)$$

נחלק את המשחק בין שחקן א' לשחקן ב'. כדי לתאר את ההסתברות ששחקן א' ילשין (או לחלופין ישתוק) נפעיל פעמיים את נוסחת ההסתברות השלמה. פעם אחת נפעיל את הנוסחה כדי לשקף את ההערכה של שחקן א' את מהלכי שחקן ב' ופעם אחת כדי לתאר את המהלכים האפשריים של שחקן א'. לפיכך, שחקן א' יחשב את ההסתברות ששחקן ב' עתיד להלשין כך:

$$\overline{P}(\text{שחקן ב מלשין}) = P(\text{שחקן ב מלשין} | \text{שחקן א מלשין})P(\text{שחקן א מלשין}) + P(\text{שחקן ב מלשין} | \text{שחקן א שותק})P(\text{שחקן א שותק})$$

שחקן א' ידמה את הרצון של שחקן ב' להלשין או לשתוק (בהנתן הלשנה/שתיקה מצד שחקן א'), כזהה לרצון שלו עצמו לפעול באותה סיטואציה. משמעות הדבר היא ששחקן א' יעריך

את ההסתברות להלשנה (או שתיקה) מצד שחקן ב' כפי שהיא מופיעה בטבלה (שמשקפת גם את ההתנהגות והרצון שלו). לכן, ידועים לנו מהטבלה הנתונים הבאים:

$$P(\text{שחקן א מלשין}|\text{שחקן ב מלשין}) = 0.823$$

$$P(\text{שחקן א שותק}|\text{שחקן ב מלשין}) = 0.391$$

מכיון שאין לשחקן ב' שום מידע על הנטיה של שחקן א' לשתוק או להלשין, אנו מעריכים ששחקן ב' מעריך את ההסתברות ששחקן א' מלשין או שותק במדה שווה:

$$P(\text{שחקן א מלשין}) = P(\text{שחקן א שותק}) = 0.5$$

לכן נציב ונקבל:

$$\overline{P}(\text{שחקן ב מלשין}) = 0.823 \cdot 0.5 + 0.391 \cdot 0.5 = 0.607$$

כמו כן, נחשב את ההסתברות שהשחקן השני עתיד לשתוק:

$$\overline{P}(\text{שחקן ב שותק}) = P(\text{שחקן א מלשין}|\text{שחקן ב שותק})P(\text{שחקן א מלשין}) + P(\text{שחקן א שותק}|\text{שחקן ב שותק})P(\text{שחקן א שותק})$$

כאשר ידועים לנו מהטבלה הנתונים הבאים:

$$P(\text{שחקן א מלשין}|\text{שחקן ב שותק}) = 0.177$$

$$P(\text{שחקן א שותק}|\text{שחקן ב שותק}) = 0.609$$

כמו כן, גם כאן אנו מעריכים ששחקן ב' מעריך את ההסתברות ששחקן א' מלשין או שותק במדה שווה:

$$P(\text{שחקן א מלשין}) = P(\text{שחקן א שותק}) = 0.5$$

לכן נקבל:

$$\overline{P}(\text{שחקן ב שותק}) = 0.177 \cdot 0.5 + 0.609 \cdot 0.5 = 0.393$$

כעת, כדי לחשב את ההסתברות שהשחקן א' ילשין נעזר בנוסחה הבאה:

$$P(\text{שחקן א מלשין}) = P(\text{שחקן ב מלשין}|\text{שחקן א מלשין})\overline{P}(\text{שחקן ב מלשין}) + P(\text{שחקן ב שותק}|\text{שחקן א מלשין})\overline{P}(\text{שחקן ב שותק})$$

נציב על פי הטבלה ועל פי החישובים לעיל:

$$P(\text{שחקן א מלשין}) = 0.823 * 0.607 + 0.391 * 0.393$$

ונקבל:

$$P(\text{שחקן א מלשין}) = 0.653$$

תוצאה זו קרובה מאוד לתוצאה שהתקבלה (בסטיה שקטנה מאחוז אחד) ולדעתנו משקפת נכון את צורת ההכרעה בנפש במצב של התנהגות מחושבת שנדרשת בדילמת האסיר[9].

[9] נעיר שבדקנו גם כיוון של 'שיקוף עצמי' לפיה הנפש של השחקן משתקפת ביריב ולכן השחקן מנסה לחשב היריב כאילו הוא השחקן עצמו:

P = P*0.823 + (1-P)*0.391

משחקי שיתוף פעולה והרחבה של פונקצית הנפש

דילמת האסיר היא מקרה קלאסי של משחק המצריך שיתוף פעולה בין שחקנים כדי להשיג תוצאה אופטימלית (על ידי שתיקה של שניהם) בעוד שדרך הפעולה המשתלמת יותר לכל שחקן בפני עצמו היא דווקא לא לשתף פעולה. כעת נציג משחק של שיתוף פעולה של רווחים. בעוד שבדילמת האסיר שיתוף הפעולה נועד למנוע הפסדים או ענישה, במשחק שנציג, שיתוף הפעולה נועד להניב את הרווח או השכר האופטימלי. במשחק זה שני השחקנים נדרשים לבחור בין 'שיתוף פעולה' ל'בגידה' מבלי לדעת מה השני בחר. טבלת הרווחים האפשריים היא כדלהלן:

שחקן א' \ שחקן ב'	שחקן ב' - בוגד	שחקן ב' - משת"פ
שחקן א' - בוגד	30 \ 30	25 \ 85
שחקן א' - משת"פ	85 \ 25	75 \ 75

נעזר בטבלה כדי לחשב את התועלת של אסטרטגית בגידה לעומת שת"פ:

$$U_{\text{לבגוד}} = 30 \cdot \frac{1}{2} + 85 \cdot \frac{1}{2} = 57.5$$

ואילו התועלת מלשתוק (לשתף פעולה) תהיה:

$$U_{\text{לשת"פ}} = 25 \cdot \frac{1}{2} + 75 \cdot \frac{1}{2} = 50$$

כלומר, אסטרטגיה של בגידה תניב תועלת ממוצעת של 57.5 לכל שחקן, ואילו שת"פ יניב תועלת ממוצעת של 50. לכן, האסטרטגיה המנצחת היא בגידה, עם רווח ממוצע של 57.5, למרות ששיתוף פעולה בין שני השחקנים יכל להניב לכל אחד רווח של 75.

ניתן לראות בצורת חשיבה זו גם סוג של 'חשיבה רקורסיבית' על ידי ייצוג של ההסתברות באמצעות סדרה מתכנסת המוגדרת כך:

*a(i) = a(i-1)*0.823 +(1-a(i-1))*0.391; a(0)=0.5*

למעשה, פתרון המשוואה הראשונה נותנת גם את נקודת ההתכנסות של הסדרה באינסוף. נקודה זו היא בסביבת הערך 0.688, שהוא יחסית רחוק מתוצאות הניסוי. נשים לב, שתוצאות הניסוי יושבת פחות או יותר באמצע בין תוצאות החשיבה ה'לוגית' (שהיא גם נקודת ההתחלה של הסדרה שמפתחת החשיבה הרקורסיבית) בה השחקן מניח סבירות של חצי-חצי להלשנה\שתיקה של היריב, לבין החשיבה של 'שיקוף עצמי' (שהיא, כאמור, הגבול באינסוף של הסדרה הרקורסיבית). מכאן שמתבקש לומר, שהחשיבה האנושית הפשוטה מחשבת רק עד כדי האיבר השני בסדרה: 0.653 = a(2). במושגים נפשיים, אפשר לפרש זאת, שלמרות שהיריב נעשה ציור בתוך הנפש של השחקן, הוא עדיין לא השחקן עצמו, ולכן מוגבל בצד 'לוגי' או 'לבוש' של הנפש.

כפי שנראה להלן, מרבית השחקנים אכן בחרו לבגוד ולא לשתף פעולה, אמנם, אם נבדוק את משחק שיתוף הפעולה עם רווחים שהצגנו לעיל, נראה שקיימת סטיה משמעותית בין ההכרעות במצב ידיעה לאלו במצב של אי-ידיעה.
להלן תוצאות:

ידיעה לגבי שחקן ב':	כמה שחקנים בגדו	כמה שחקנים שיתפו פעולה
כאשר ידוע כי שחקן ב' בגד	97%	3%
כאשר ידוע כי שחקן ב' שת"פ	84%	16%
כאשר בחירת שחקן ב' לא ידועה	63%	37%
סטיה מהממוצע הרציונאלי:	27.5%	27.5%

ניתן לראות שמתקבלת סטיה של 27.5% מהממוצע הרציונאלי במשחק זה. למרות שמבחינת כל שחקן בפני עצמו, האסטרטגיה המנצחת היא בגידה ולכן כל זמן שאין תקשורת בין השחקנים הצעד הרווחי ביותר לכל שחקן הוא לבגוד, בכל זאת רואים שבמצב של אי-ודאות יש גידול משמעותי במספר משתפי הפעולה.

נשים לב כי המקרה הזה שונה ממקרים קודמים (לא רק מאי-ודאות רגילה כמו בניסוי ההגרלות אלא גם אי-ודאות בהפסדים, כמו דילמת האסיר). בכל המקרים שראינו עד כה, תמיד יכולנו לזהות הכרעה אחת כאקטיבית (יחסית) והכרעה שניה כפסיבית. לדוגמא, להמשיך להגרלה נוספת - הכרעה אקטיבית - לעומת לפרוש - הכרעה פסיבית. בהשוואה לניסוי שני הסדקים, ההכרעה האקטיבית משתקפת בסיכוי למצוא את החלקיק באזור המדידה ואילו ההכרעה הפסיבית היא הסיכוי שהחלקיק לא ימצא שם. במקרים כאלו, אי-הודאות בדרך כלל גרמה לירידה בהכרעות האקטיביות. לעומת זאת, כאן במקרה של שיתוף פעולה, גם בשיתוף פעולה וגם בבגידה יש צד אקטיבי. לכן, למרות שבאופן עקרוני ניתן להתאים צד אחד של הנתונים למשוואות הבחירה הקוונטית, התאמה זו היא שרירותית ואינה מתאימה לסיווג של הנתונים (אקטיבי/פסיבי). לכן, היא אינה מתארת נכון את הדינמיקה בנפש ואינה מתאימה להקבלה לניסוי שני הסדקים.

בנוסף, למרות הסתירה הלוגית שקיימת בכל המקרים הקודמים, עדיין ניתן היה להבין באופן אינטואיטיבי מדוע אי-ודאות גורמת להתנהגות לא הגיונית. לעומת זאת, כאן לא ברור מדוע ידיעה על שיתוף פעולה מצד השחקן השני משפיעה פחות על הרצון לשתף פעולה מאשר אי-ודאות לגבי ההכרעות שלו. לכאורה, כאשר יש לשחקן ודאות לגבי המוכנות של השחקן השני לשתף פעולה, אמור להתעורר בו רצון לשתף פעולה (כמענה לשחקן השני) לפחות כמו במצב של אי-ודאות (אז הוא לא יודע האם באמת השני גם ישתף פעולה). כדי להסביר תופעה זו, נציג צורה חדשה לחישוב הכרעות באי-ודאות במשחקי שיתוף פעולה. צורת חישוב זו תעשה באמצעות פונקציות הפרבוליות. נייצג את ההסתברות לשתף פעולה באמצעות משוואת התאבכות של פונקצית גל הפרבולית, ואילו את ההסתברות לבגוד נחשב כגודל משלים להתאבכות זו (כפי שעשינו עד כה בהתאבכויות טריגונומטריות רגילות).

באמצעות פונקציה הפרבולית נוכל לתאר את הדינמיקה של שיתוף פעולה ואת התענוג בנפש שנוצר משיתוף פעולה בין שניים. באופן כללי נאמר כי במצב של אי-ודאות, השחקן מביע את הרצון לשיתוף פעולה הדדי (שיניב תוצאות טובות עבור שני השחקנים יחד) בכך שהוא בוחר לשתף פעולה מבלי לדעת האם הצד השני גם ישתף פעולה. בשיתוף פעולה נוצרת דינמיקה נפשית משותפת בין השחקנים שמורכבת לא רק מהתענוג מרווח אישי אלא גם מרווח משותף.

פונקציה הפרבולית

נזכר במבנה הכללי של משוואת ההסתברות הקוונטית:

$$P = |\Psi|^2 = |\sum_i \phi_i \varphi_i|^2$$

עד כה השתמשנו רק בפונקציות גל מרוכבות כדי לתאר את פונקצית הנפש של הבוחר. הסיבה לכך היתה שפונקצית גל מרוכבת מתארת את המחזוריות שמתעוררת בתוך הנפש כאשר האדם צריך לבחור לבטא את עצמו בתוך מציאות חיצונית. לעומת זאת, במקרה של משחק שיתוף פעולה, כמו זה שראינו לעיל, הדינמיקה בנפש שונה באופן מהותי[10].

כאשר שחקן לוקח בחשבון שהשחקן השני משתף איתו פעולה התענוג מהמשחק הופך לתענוג משיתוף הפעולה והקשר בין השחקנים. המטרה של המשחק היא כבר לא רק להרוויח אלא גם לאפשר לשני להרוויח. התענוג של השחקן הוא לא רק מזה שיהיה לו תענוג מהרווח אלא שגם לשחקן השני יהיה תענוג מהרווח. אבל, השחקן מצייר גם את השחקן השני באותו אופן, שגם הוא רואה את המשחק ככה, וגם אצלו התענוג הוא גם מהרווח אבל גם מהתענוג של השחקן הראשון.

אם ננסח זאת מבחינה מתמטית, נגדיר:

$x(t)$ - התענוג של שחקן א'. ההתלהבות לשתף פעולה או קצב הגדילה בתענוג משתוף הפעולה של שחקן א' היא ביחס לגודל התענוג של שחקן ב'.

$y(t)$ - התענוג של שחקן ב'. ההתלהבות לשתף פעולה או קצב הגדילה בתענוג משתוף הפעולה של שחקן ב' היא ביחס לגודל התענוג של שחקן א'.

מתקיים:

$$x'(t) = y(t)$$

אבל גם:

$$y'(t) = x(t)$$

לכן מתקיים:

$$x''(t) = x(t)$$

וכן:

$$y''(t) = y(t)$$

שתי פונקציות שעונות על תנאים אלו הן הפונקציות ההפרבוליות:

---

[10] בעקבות המחקרים סביב משחקי שת"פ, חוקרים אחדים הציעו שימוש בפונקציות הפרבוליות במקום פונקציות מרוכבות, אך באופן שונה מההצעה שלנו להלן. נעיר שמחקרים אלו הציעו שימוש בפונקציות הפרבוליות רק בתור פתרון אלגנטי (שהכי דומה לפתרון המרוכב) לבעיה המתמטית ולא כתאור של הדינמיקה בנפש.

$$x(t) = Acosh(t)$$
$$y(t) = Asinh(t)$$

כמו במקרה המרוכב, גם כאן הרצון של שחקן א' לשתף פעולה כדי להרוויח משקף את קצב הגדילה של התענוג, כלומר הרצון של שחקן א' הוא למעשה $y(t)$. אם במקרה של הכרטיסים, התענוג והרצון בנפש קיימו את משוואת המעגל:

$$x(t) = Acos(t)$$
$$y(t) = Asin(t)$$
$$x(t)^2 + y(t)^2 = A^2cos^2(t) + A^2sin^2(t) = A^2$$

במקרה של שתוף פעולה התענוג והרצון בנפש מקיימים את משוואת ההפרבולה:

$$x(t) = Acosh(t)$$
$$y(t) = Asinh(t)$$
$$x(t)^2 - y(t)^2 = A^2cosh^2(t) - A^2sinh^2(t) = A^2$$

בפרק ?? ראינו, שניתן בעזרת פונקציות מרוכבות לתאר תנועה מחזורית בטבע. עובדה זו אפשרה לנו להביא משלים שונים להבנת והמחשת הדינמיקה הנפשית מתחום המכניקה והגלים (בפרט ניסוי שני הסדקים באור). לעומת זאת, הפונקציות ההפרבוליות לא מתארות תנועה פשוטה בטבע, ולכן השתמשנו יותר במשוואות ופחות במשלים (בנספח ?? הבאנו משל מתחום הדינמיקה היחסותית - עיין שם בהרחבה).

מעגל והפרבולה

להבנת הדינמיקה הנפשית שנציע בפרק זה, חשוב לפתוח בהשוואה בין שתי צורות גאומטריות יסודיות: המעגל וההיפרבולה. המעגל וההיפרבולה הן צורות מתמטיות המבטאות עקרונות שונים של תנועה, יחס, ומבנה בין ערכים. בפרק זה נציג כיצד משוואות אלו משקפות דפוסים שונים של דינמיקה – וכיצד ההיפרבולה, להבדיל מהמעגל, משקפת דינמיקה פתוחה, כפי שנסביר.

משוואת **מעגל היחידה** היא:

$$x^2 + y^2 = 1$$

זוהי הצורה הסגורה ביותר במישור: כל נקודה על המעגל שומרת מרחק קבוע מהמרכז. ככל ש-x^2 גדלה y^2 קטן בהתאם (כדי שהריבועים ישלימו ל-1) וכן להפך. ערכי x ו-y נעים בתחום [-1,1] במחזוריות והופכים כיוון כאשר הם מגיעים ל-1 ול-1-. הפונקציות הטריגונומטריות היסודיות, סינוס וקוסינוס, נובעות מהמעגל הזה בדיוק:

$$x = cos(\theta)$$
$$y = sin(\theta)$$

והזהות שמבטאת את השוויון והאיזון בין שני הרכיבים – x ו־y הוא:

$$cos^2(\theta) + sin^2(\theta) = 1$$

הדינמיקה כאן מחזורית, סיבובית, סימטרית – ללא התפשטות במרחב.

מולה ניצבת **היפרבולת היחידה**:

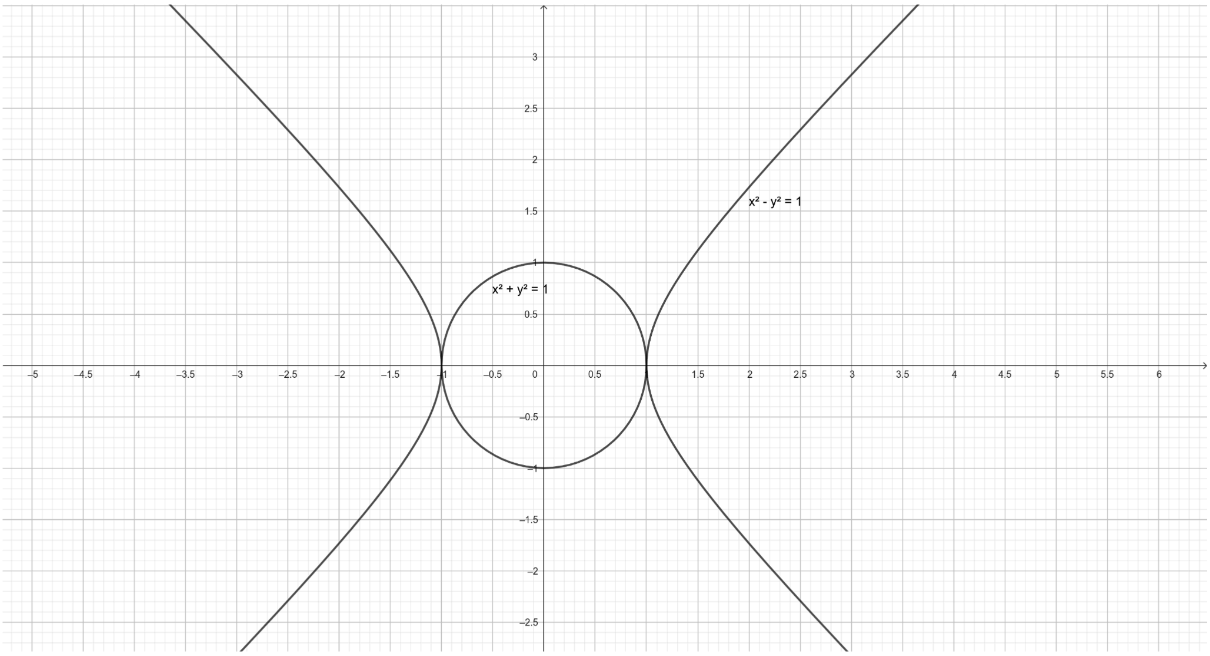
$$x^2 - y^2 = 1$$

כאן הסיפור משתנה באופן מהותי. זוהי צורה פתוחה, לא מחזורית, שבה ככל ש-x גדל, כך גם y גדל - כדי לשמור על המרחק הקבוע 1, ביניהם. הפונקציות המתאימות כאן הן הפונקציות ההיפרבוליות:

$$x = cosh(\theta)$$
$$y = sinh(\theta)$$

והזהות המתאימה היא:

$$cosh^2(\theta) - sinh^2(\theta) = 1$$



המבנה הזה אינו סובב סביב עצמו אלא נמתח הלאה והלאה. בהמשך נראה שה'שימוש העיקרי' שלנו הוא ברבע הימני עליון של ההפרבולה המתאר את הגידול בדינמיקה בין שחקנים x ו-y, אך עיין בנספח ?? בהערה ?? שם הסברנו את המשמעות הנפשית של כל חלקי ההיפרבולה.

כדי להדגיש את ההבדלים בין שתי הצורות, נציג את הטבלה הבאה:

מאפיין	**מעגל היחידה**	**היפרבולת היחידה**
משוואה	$x^2 + y^2 = 1$	$x^2 - y^2 = 1$
סוג פונקציות	טריגונומטריות (cos, $sinh$)	היפרבוליות ($cosh$, $sinh$)
אופי גאומטרי	סגור, מחזורי	פתוח, מתפשט
סימטריה	מלאה	גידול של x מוביל לגידול של y
דינמיקה	תנועה מאוזנת, מחזורית	תנועה מתוחה, מואצת, לא מחזורית
ייצוג נפשי	איזון	תודעה מתגברת, הולכת ומקצינה

משוואת גל הפרבולי

אם נעזר במושגי האלגברה הקו-קווטורנית, נוכל להגדיר גל-היפרבולי שמתאר את הדינמיקה הנפשית לעיל (ובהתאם, הרבוע של גל זה יתן את ההסתברות להכריע לשתף פעולה). משוואת הגל תוגדר כדלהלן:

$$\varphi(t) \ = \ Ae^{jt}$$

נשים לב, שבאופן אנלוגי לזהות של אוילר מתקיים:

$$e^{jt} \ = \ cosh(t) \ + \ j\, sinh(t)$$

ולכן הרבוע שלו מקיים:

$$\left|e^{jt}\right|^2 \ = e^{jt} \cdot e^{-jt} = \ (cosh(t) \ + \ j\, sinh(t))(cosh(t) \ - \ j\, sinh(t))$$

ולפי ההגדרה האלגברית של הקו-קוורטונים:

$$j \cdot j \ = \ 1$$

מתקיים:

$$(cosh(t) \ + \ j\, sinh(t))(cosh(t) \ - \ j\, sinh(t)) \ = cosh^2(t) \ - \ sinh^2(t) \ = \ 1$$

ולכן:

$$|\varphi(t)|^2 = \ \left|Ae^{jt}\right|^2 = A^2$$

משחק שיתוף פעולה - התאבכות משולבת

כעת נחזור למשחק שתוף פעולה בו פתחנו את הדיון בפונקציות הפרבוליות. נצטט שוב את הנתונים ההסתברותיים אודות ההתנהגות של שחקנים:

ידיעה לגבי שחקן ב':	כמה שחקנים הלשינו	כמה שחקנים שתקו

כאשר ידוע ששחקן ב' הלשין	97%	3%
כאשר ידוע ששחקן ב' שתק	84%	16%
כאשר בחירת שחקן ב' לא ידועה	63%	37%
סטיה מהממוצע הרציונאלי:	27.5%	27.5%

לאחר שנתחנו את הדינמיקה הנפשית של שחקן שמשתף פעולה במצב בו היריב מלשין או שותק (משתף פעולה), נוכל לבחור שני פונקציות גל מתאימות לכל אפשרות.

במצב שידוע שהשחקן השני הלשין:

$$\varphi_1 = \sqrt{0.03}e^{it}$$

במצב שידוע שהשחקן השני שתק:

$$\varphi_2 = \sqrt{0.16}e^{jt}$$

ומתקיים:

$$\left|\varphi_1\right|^2 = 0.03; \left|\varphi_2\right|^2 = 0.16$$

בהנחה שפונקציות המציאות מבוססות על ההסתברות השלמה:

$$\phi_1 = \frac{1}{2} \cdot (0.97 + 0.84) = 0.905$$

$$\phi_2 = \frac{1}{2} \cdot (0.03 + 0.16) = 0.095$$

כעת נראה מה קורה במצב של אי-ידיעה:

$$P_{1+2} = |0.905 \cdot \sqrt{0.03}\, e^{it_1} + 0.095 \cdot \sqrt{0.16}\, e^{jt_2}|^2 = 0.37$$

$$P_{1+2} = 0.82 \cdot 0.03 + 0.009 \cdot 0.16 + 0.086\sqrt{0.03 \cdot 0.16} \cdot cos(t_1 - t_2) \cdot cosh(t_1 - t_2) = 0.37$$

$$P_{1+2} = 0.026 + \sqrt{0.0048} \cdot cos(t_1 - t_2) \cdot cosh(t_1 - t_2) = 0.37$$

ובאמצעות שיטות חישוב נומריות נוכל להגיע להפרש פאזות:

$$t_1 - t_2 = ?$$

חלק ב'

האור כמשל לנפש

פרק א'

תבנית ההתאבכות - שיקוף של הנפש

מדידה נקודתית לעומת דפוס ההתאבכות

חלקו הראשון של הספר עסק בייצוג ומדידה של קבלת החלטות בנפש לפי המודל של הבחירה הקוונטית. סקרנו את ההקבלה בין הניסויים של טברסקי ושפיר (וכן משחקי שיתוף פעולה) לתופעות קוונטיות באור (בפרט לניסוי שני הסדקים). המיקוד של החלק הראשון היה על רובד ההכרעה בנפש כפי שהוא בא לידי ביטוי במצבים של אי-ודאות. הבאנו את ניסוי שני הסדקים בתור מודל המחשה למצבים בנפש, אך התייחסנו בעיקר לנקודות המדידה ולעוצמת האור המשתנה בנקודה (או נקודות) מסוימת על המסך. בחלק זה של הספר נרצה להתייחס למכלול ההתרחשות בנפש ולא רק לרובד ההכרעה. כאשר נתייחס כאן לניסוי שני הסדקים לא נתמקד במדידה של נקודות על המסך אלא נתייחס לפיזור האור שעל פני כל המסך ולתבנית ההתאבכות בכללה - כמות הפסים שבה, צפיפותם, עוצמתם וכו'. מכיוון שאנו לא דנים על רובד ההכרעה בנפש אלא על הדרך בה הנפש מביעה את עצמה באופן כללי, לכן בחלק זה לא נדון על מקרים של הכרעות, אלא ננתח מקרים שבהם יש דמיון בין הנפש לתבנית ההתאבכות הכללית שעל המסך.

בפרקים הקודמים הצגנו את מדידת ההתאבכות בניסוי שני הסדקים כמנגנון הכרעה בין שתי אפשרויות. המדידה בפועל מתבצעת מול סדק אחד בלבד, ולכן השאלה שנשאלת בניסוי היא: **האם החלקיק הגיע לאזור המדידה או לא הגיע?** לכאורה, מדובר בהחלטה בינארית – החלקיק נמצא או אינו נמצא בנקודת המדידה.

אולם, כאשר בוחנים את כלל התופעה ולא רק את הנקודה הספציפית שבה התבצעה המדידה, מתגלה תמונה רחבה יותר: הפחתת העוצמה של האור או החלקיקים מול הסדק אינה נובעת מהיעלמותם, אלא מכך שהם מתפזרים מחדש על פני כל המסך ויוצרים דפוסי התאבכות. בפרט, מספר הפסים וצורתם אינם קבועים, אלא תלויים במרחק שבין הסדקים.

ככל שהסדקים קרובים זה לזה, מספר הפסים קטן. לעומת זאת, ככל שהסדקים מתרחקים זה מזה, מופיעים יותר פסים.

התמקדות באזור שמול הסדק מקבילה להתבוננות **רק בהחלטה הסופית** שהתקבלה בדילמה – מה האדם בחר בפועל. זוהי ראייה נקודתית המתעלמת מהתהליך הפנימי שהוביל להכרעה.

לעומת זאת, **התבוננות על כל המסך** משקפת הסתכלות רחבה יותר על הנפש, החושפת את **ההתלבטויות, התנודות והאי-ודאות** שהתקיימו לפני ההכרעה. במקום רק לראות את הבחירה הסופית, אנו מזהים **כיצד האפשרויות השפיעו זו על זו**, באיזו מידה הן התאבכו, וכיצד כל זה עיצב את דפוסי החשיבה והרגש לפני גיבוש ההחלטה.

היבט מתמטי וגאומטרי

כיצד נוצרת תבנית ההתאבכות?

ניסוי שני הסדקים מתבצע כך:

מקור אור או אלקטרונים משוגר לעבר מחסום שבו שני סדקים, הממוקמים במרחק d זה מזה. החלקיקים שעוברים דרך הסדקים מתקדמים אל המסך שנמצא מאחור, במרחק L, שם הם נמדדים.

אם נתמקד רק בנקודה שמול סדק מסוים ונמדוד בה את הגעת החלקיקים, נקבל מידע חלקי בלבד – נוכל לדעת האם החלקיק הגיע לאזור המדידה או לא, אך לא נוכל לראות את התמונה המלאה. בפועל, החלקיקים אינם נעים בקו ישר בלבד, אלא מתפזרים ויוצרים על המסך כולו תבנית התאבכות מורכבת, המשקפת את ההשפעה ההדדית בין שני הסדקים.

הפרש הדרכים בין שני הסדקים

כל גל שמגיע לנקודה על המסך עבר מרחק שונה מכל אחד מהסדקים. הפרש הדרכים בין שני הנתיבים קובע אם תתקיים התאבכות **בונה** (פסים מוארים) או **הורסת** (אזורים חשוכים).

אם נסמן את הזווית של הקרן היוצאת מאחד הסדקים לעבר נקודה מסוימת על המסך ב-θ, הפרש הדרכים (Δr) בין הקרן היוצאת מהסדק הראשון לבין הקרן היוצאת מהסדק השני נתון על ידי:

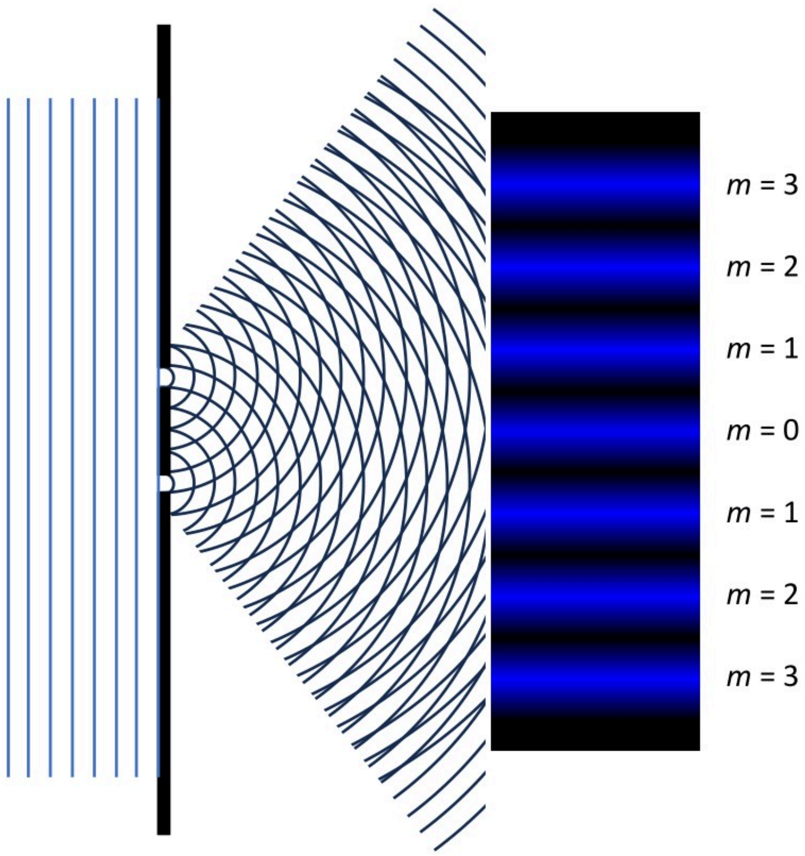
$$dsin(\theta) = \Delta r$$

כאשר **הפרש הדרכים** הוא כפולה שלמה של אורך הגל (λ), מתקבלת **התאבכות בונה**, כלומר פס בהיר על המסך:

$$\lambda m = dsin(\theta) \qquad \text{כאשר: } m = 0, \pm 1, \pm 2....$$

כאשר **הפרש הדרכים** הוא חצי מספר אי-זוגי של λ, מתקבלת **התאבכות הורסת**, כלומר אזור חשוך:

$$\lambda(m + \frac{1}{2}) = dsin(\theta) \qquad \text{כאשר: } m = 0, \pm 1, \pm 2....$$



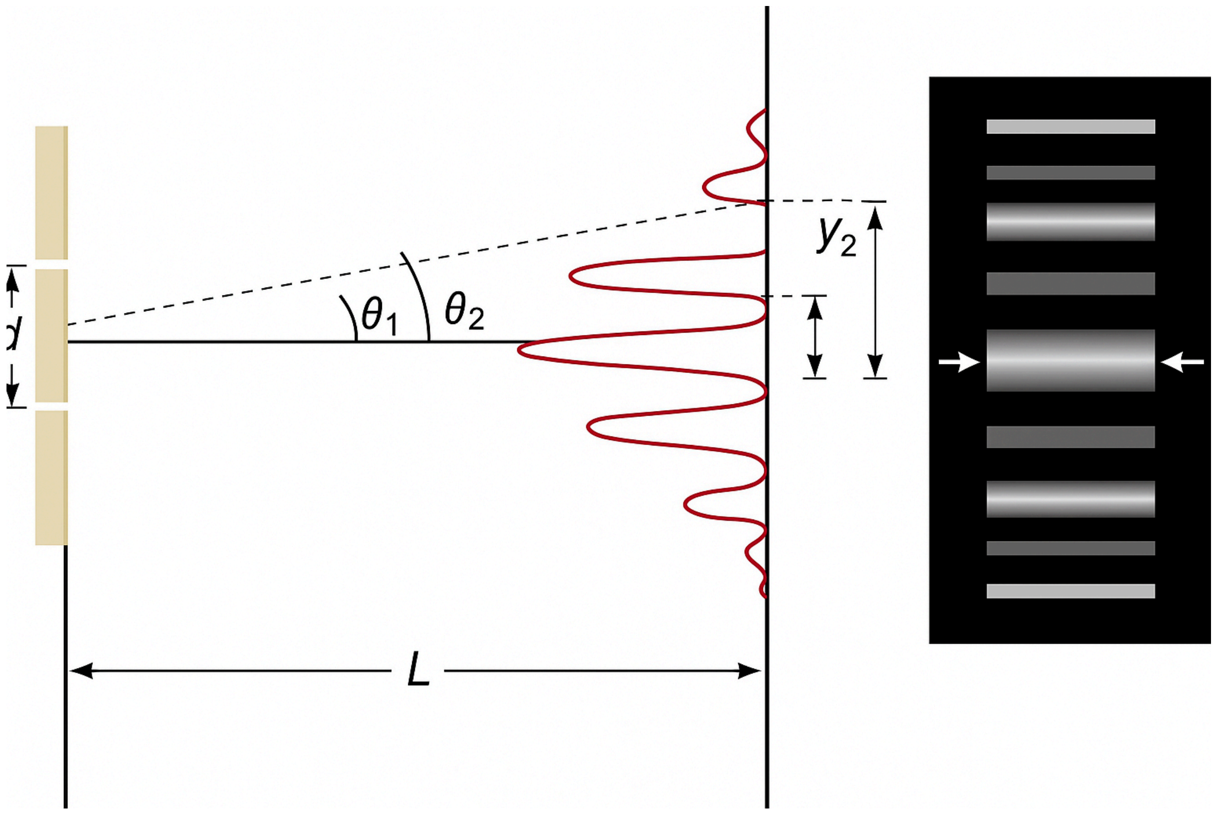
מספר הפסים ותלותם במרחק בין הסדקים

המרחק בין הפסים הבהירים על המסך נקבע לפי:

$$\frac{\lambda L}{d} = \Delta y$$

כאשר:

- L – המרחק בין הסדקים למסך,
- λ – אורך הגל,
- d – המרחק בין הסדקים.



מכאן נובעת התוצאה החשובה:

- **ככל שהמרחק** d **בין הסדקים קטן**, המרחק Δy בין הפסים גדל, כלומר יש פחות פסים ועוצמתם גדולה יותר.

- **ככל שהמרחק d בין הסדקים גדל**, המרחק Δy קטן – מתקבלים יותר פסים, כאשר ככל הפסים מתרבים הם נעשים בהירים יותר.
- **כאשר המרחק בין הסדקים גדול מאוד יחסית למרחק מהמסך**, כל סדק מתנהג כסדק אחד בלבד.

משמעות הפסים בנפש

בהקבלה בין החוויות בנפש לפיזור האור על המסך, דפוס ההתאבכות מייצג את עוצמת ההשפעה של שתי האפשרויות זו על זו במצב של אי-ודאות. כאשר המרחק בין הסדקים אינו גדול, מתקבלים בדרך כלל שלושה אזורים (פסים) מוארים על המסך (בערך מול כל סדק ועוד אזור ביניהם). למרות שגם בדפוס זה מתקבלת התאבכות (ועוצמת האור שבכל אזור אינו אינטואיטיבי - כלומר החלטה אינה לוגית לגמרי), עדין דפוס זה משקף בהירות יחסית בקשר לחלוקת אפשרויות ההכרעה בנפש.

לעומת זאת, כאשר הסדקים רחוקים זה מזה (כלומר, כאשר d גדל), אנו מקבלים ריבוי של פסים לאורך המסך, מה שבנפש מקביל למצב של התלבטות ותנודתיות. במקום שלושה אזורים ברורים, נוצרים הרבה אזורים של אור וחושך לסירוגין. בנמשל, הנפש מתלבטת בין האפשרויות השונות ונעה ביניהם שוב ושוב. זהו מצב של אי-יציבות פנימית, או התלבטות מהותית כאשר מצד אחד, כל אפשרות היא חדה וברורה (כי הפסים צרים וחדים), אך מצד שני, האפשרויות מתחלפת שוב ושוב.
אפשר לדמות זאת למצב שבו אדם כל רגע משנה את דעתו לכיוון ההפוך. פעם אחת הוא בטוח שצריך לבחור באפשרות א', ואז ברגע הבא הוא בטוח בדיוק להפך – לבחור באפשרות ב'. התוצאה היא שהאדם אינו מצליח להתייצב על בחירה יציבה לאורך זמן, ומוצא את עצמו מחליף את הבחירה שלו בתדירות גבוה.
נסכם את ההשוואה בין מצב הסדקים למצבים נפשיים:

- **כאשר הסדקים קרובים**: הבחירה יחסית ברורה, אך עדיין יש אינטראקציה בין האפשרויות.
- **כאשר הסדקים רחוקים**: יש הרבה נטיות חזקות, אך הן הפוכות כל פעם, מה שיוצר **חוסר יציבות פנימית**.

- **כאשר המרחק גדול מאוד יחסית למרחק מהמסך**: תבנית ההתאבכות נעלמת, והאפשרויות הופכות לעצמאיות לחלוטין, כלומר, אין כלל השפעה הדדית – מצב של **הפרדה בין האפשרויות**. ההפרדה בין הסדקים מקבילה לניסיון לבודד כל אפשרות ולנתק אותה מחברתה כך שלא ישפיעו אחת על השניה[11]. קרוב הסדקים למסך מקביל לניסיון להתמקד בהשלכה של כל אפשרות בפני עצמה מבלי לתת מרחב גדול לערבוב נפשי בין האפשרויות.

ריבוי פסים בנפש

מצב שבו מופיעים בנפש דפוסים של ריבוי פסים צרים ומתחלפים משקף **התלבטות מהותית וקיצונית**. האדם עשוי לחוות **משיכה חזקה לכל אחת מהכרעותיו**, אך במקביל מתקשה **להתמיד בהחלטתו לאורך זמן**. כל בחירה שהוא מקבל נראית לו תחילה ברורה ונכונה, אך כעבור זמן קצר הוא מרגיש צורך לחזור בו ולבחור בכיוון ההפוך.

דינמיקה זו יוצרת **מתח מתמיד בין הכרעות מנוגדות**, ומונעת מהנפש להגיע ליציבות פנימית. במקום תהליך החלטה ברור ומגובש, האדם נע הלוך ושוב בין אפשרויות סותרות, מבלי למצוא נקודת איזון אמיתית. תופעה זו ניכרת, למשל, אצל מי שמתלבט שוב ושוב אם להישאר במערכת יחסים או לעזוב, או אצל אדם המנסה להתחייב לקריירה מסוימת אך מוצא את עצמו משנה כיוון בכל פעם מחדש. גם מצבי חוסר יציבות רגשית מאופיינים בתהליך דומה, כאשר האדם חווה **מעברים קיצוניים בין רגשות ומחשבות סותרות**, מבלי שיוכל להתייצב על הכרעה ברורה ויציבה.

[11] מצב זה מזכיר את צורת ההכרעה בדילמת האסיר. במקרה של דילמת האסיר ראינו שככל שהשחקן מודע יותר לצורך בניהול מחושב של האפשרויות הוא מסוגל להפריד ביניהם ולמנוע התאבכות. בדילמת האסיר, מודעות זו מונעת הכרעות בלתי רציונאליות, בהקשר בו אנו עוסקים כעת הפרדה בין המקרים יכולה למנוע מצבים של אי-יציבות נפשית כפי שנאריך לבאר בפרק הבא.

פרק ב' - בחירה קוונטית בשדה הטיפולי

הקדמה

בפרק זה נעמיק ביישומים של מודל הבחירה הקוונטית בשדה הטיפולי, ונבחן מקרים פסיכולוגיים שבהם ניתן לראות כיצד ההתאבכות הנפשית משפיעה על דפוסי ההתנהגות, הקונפליקטים הפנימיים והקשיים הרגשיים של מטופלים. נראה כיצד התנהגויות שנראות "בלתי הגיוניות" (ולעתים בלתי נשלטות) – למשל, הימנעות מפתרון רצוי או חזרה על דפוסים שמעוררים סבל – אינן בהכרח תוצאה של כשל לוגי או של דחף הרס עצמי, אלא ביטוי לא מודע של שני רצונות שונים שמתאבכים זה בזה. למעשה, ההתאבכות היא דרך שבה הנפש מבטאת בו-זמנית שני רצונות סותרים, אך מאחר שאין הכרה מודעת בכך שהם פועלים יחד, התוצאה הסופית עשויה להיראות לא רציונלית.

כאשר המטופל לומד להבחין בקיומה של ההתאבכות ולהבין מדוע היא משקפת את המורכבות שמתחוללת בתוך הנפש, הכרה זו עשויה להיות שלב משמעותי בתהליך הריפוי. בנוסף, לעתים המטופל יפעל להפריד בתוכו בין שני הרצונות המתנגשים, לזהות כיצד כל אחד מהם משפיע עליו בנפרד, ולקבל החלטות רצוניות ומודעות באופן מסודר ושקול יותר. על ידי חשיפת המבנה הפנימי של הדחפים והמחשבות, ניתן לאפשר למטופל לסדר מחדש את חווייתו הפנימית, להבין את משמעות התהליכים הנפשיים שהוא חווה, ולנווט את חייו על פי בחירה רציונלית ושלמה יותר.

זויות שונות בתופעת ההתאבכות

עד כה עסקנו בכמה תופעות של התאבכות בנפש, דרך הדימוי של התאבכות אור בניסוי הסדקים. בפרק הקודם, התבוננו **בתבנית הכללית של הפסים שנוצרת על פני המסך**, כתוצאה מהתאבכות אור בין שני הסדקים. תבנית זו משקפת את **התנודות בנפש**: ריבוי פסים צרים, צפופים ומתחלפים מייצג התלבטות פנימית בנפש. האדם עשוי להימשך לסירוגין לאפשרויות סותרות – למשל, להישאר או לעזוב, להתחייב או להימנע – ובכל פעם נדמה לו שזו הבחירה הנכונה. אך כעבור זמן קצר מופיעה שוב האפשרות הנגדית, ודוחקת את רגלי ההכרעה הקודמת. זהו מצב של תנודתיות מתמדת, שבו הנפש אינה מצליחה להתייצב על

בחירה ברורה, אלא נעה הלוך ושוב בתוך תבנית של פסים – אזורי אור וחושך שמתחלפים בקצב מתגבר, ככל שההתלבטות גדולה יותר.
בפרקים הראשונים של המאמר, דנו בנושא של **הכרעות לא הגיוניות**. ראינו כיצד הכרעות לא הגיוניות יכולות להתרחש במצב שבו האדם שוקל בו זמנית שתי אפשרויות וכתוצאה מכך מתרחשת 'התאבכות' בין שני הרצונות (בדומה להתאבכות באור שבוקע משני סדקים). **ההכרעה מתרחשת מול הסדקים**, באופן שכל סדק מושפע מהשני. תופעה זו שימשה אותנו להסברת הכרעות בלתי-רציונליות הנובעות מקיום בו-זמני של אפשרויות שונות במצב של אי-ודאות לגבי איזו אפשרות אמיתית, וההשפעה ההדדית ביניהן. כאן נשוב ונדגיש את מה שהוסבר בפרקים הראשונים של המאמר[12], שהסדקים אינם מייצגים "אפשרויות מציאותיות" אובייקטיביות, אלא, מסמלים אופנים שונים שבהם הנפש מבקשת לבטא את עצמה.

בפרק זה נבחן זוית שונה בניסוי שני הסדקים: **האזורים אליהם מגיע האור**. במצבים מסוימים (עליהם נדון בפרק זה) כאשר שני הסדקים פתוחים, **האור מגיע גם לאזור במסך שלכאורה הוא כמעט לא אמור היה להגיע - האזור מול המחיצה שבין שני הסדקים** (אזור שאינו נמצא מול מקור אור). בנפש, מצב זה מייצג הופעה של רצון חדש – כזה **שהאדם לא יודע לשייך לאף רצון** קיים או מוכר בתוכו. זהו רצון שנוצר כתוצאה מהתאבכות *בונה* של שני רצונות שונים ולעיתים סותרים.

במקרים בהם נדון, האדם חושב שקיים רק סדק אחד, כלומר רצון אחד שהוא רוצה לבטא, ושהאור אמור להאיר מול סדק זה - כלומר, הנפש אמורה להתבטא באופן המתאים לרצון האחד הזה. מכיון שזו לא המציאות (כפי שנסביר), נוצר אצלו בלבול לגבי מקור הרצון והוא אינו מצליח להסביר לעצמו את פשר החויות שעוברות עליו. באמצעות הדימוי של ניסוי שני הסדקים אנו יכולים להמחיש למטופל שקיימים אצלו שני סדקים ושהאור שבוקע מהם מתאבך ובעקבות כך מגיע בעוצמה לאזור שלא מול אף סדק (האזור שמול המחיצה שבין הסדקים). הדימוי של ניסוי שני הסדקים יכול לעזור למטופל להבין את מקור הרצון המחודש ולהסביר לעצמו את פשר החויות המבלבלות שעוברות עליו.

במילים אחרות, ישנם מצבים שבהם האדם חווה דחף, משיכה או הכרעה, שהוא לא יודע להסביר – כי אינו מודע לכך שקיימים אצלו שני סדקים או שני ביטויים שונים של הנפש שמתחברים. השילוב הזה מתאפשר דווקא משום שהרצון, כפי שהוסבר קודם לכן, הוא

---

[12] ??

תנועה מחזורית. בכל רצון קיימים צדדים שונים, וכששני רצונות פועלים יחד – ישנם אזורים מסוימים במחזוריות שלהם שמתלכדים ויוצרים תוצאה חדשה, מקורית ולעיתים מפתיעה.

הסדקים כאופנים לבטא את הנפש

בגרסה הפיזיקלית של ניסוי שני הסדקים, כל סדק מייצג מסלול פוטנציאלי של חלקיק העובר דרכו, וגל ההתאבכות הנוצר מבטא את השפעת שני המסלולים על תוצאת המדידה. כאשר משל זה מועבר לעולם הנפשי, יכולנו אולי לזהות את הסדקים עם הערכות מציאות שונות, כמו זכייה או הפסד בהגרלה. אולם כפי שהסברנו, הטבע הגלי של הנפש ותופעות ההתאבכות בעקבותיה נובעים לא מאי-ודאות לגבי המציאות אלא מהטבע הבחירי של הנפש והאופן שבו הנפש בוחרת לבוא לידי ביטוי.

כך לדוגמה, בניסוי כרטיסי החופשה, השאלה איננה רק אם האדם יודע או לא יודע אם עבר את המבחן, אלא באיזה אופן הנפש רוצה לבטא את עצמה. כלומר, כל סדק מייצג הקשר של ביטוי עצמי ולא עובדה במציאות. הנפש שואפת להתבטא בשני אופנים גם יחד, ולכן נוצר מצב של סופרפוזיציה של הקשרים נפשיים, ולא של עובדות חיצוניות.

במקרים טיפוליים שנראה, עקרון זה מתחדד ביתר שאת. הרצון של הנפש לבטא את עצמה בשני הקשרים שונים גם יחד מהווים "סדקים" או דרכי ביטוי פוטנציאליות של הנפש, ולא תרחישים של המציאות. ההתאבכות הנפשית מתרחשת בין שני ההקשרים שבהם הנפש מבקשת להתגלות, גם אם הם סותרים במישור הלוגי.

הבחירה ולא אי-הוודאות – ההבדל בין מודל הקוגניציה הקוונטית ל??

כאן נשוב ונבחין בין גישת הקוגניציה הקוונטית כפי שהיא מופיעה בספרות המחקר הקיימת, לבין גישת הבחירה הקוונטית המוצעת כאן. בעוד שהקוגניציה הקוונטית הקלאסית מזהה את ההתאבכות עם מצב של אי-ידיעה – כלומר, האדם אינו יודע את מצב העולם ולכן מחשבתו "מתפצלת" לסופרפוזיציה – אנו מציעים לראות את התופעה כנגזרת של בחירה ורצון פנימי.

במילים אחרות, הגישה הקלאסית עוסקת בשאלה "מה האדם יודע?", ואילו גישת הבחירה הקוונטית עוסקת בשאלה "מה הנפש מבקשת להיות?". ההתאבכות איננה נובעת

מאי-וודאות אובייקטיבית, אלא ממורכבות הרצון – מהשאיפה של הנפש לבטא את עצמה במספר הקשרים פנימיים בו-זמנית.

כשהנפש מתאבכת: מקרים טיפוליים

לאחר שהבנו את עקרון ההתאבכות בנפש ואת השפעותיו על ההתנהגות האנושית, ננסה כעת להמחיש עקרון זה על ידי בחינת מקרים טיפוליים בהם ניסינו להעזר בתובנות מתוך המחקר הנוכחי. לדעתנו, במקרים אלו ניתן לזהות כיצד התאבכות של רצונות לא מודעים יוצרת דפוסים רגשיים והתנהגותיים לא רציונליים.

במקרים אלו נראה כיצד מטופלים פועלים בדרכים שנראות בתחילה בלתי רציונליות – כמו היצמדות למערכות יחסים מזיקות, חזרה בלתי מוסברת על טעויות או מאבק פנימי בין רצון מודע לבין התנהגות הפוכה לו. אך כאשר מתעמקים במבנה הפנימי של הנפש, ניתן לזהות כי מאחורי התנהגות זו עומדת **התאבכות של שני רצונות שונים**, המתקיימים במקביל אך אינם גלויים במודעותו של המטופל.

באמצעות סקירת המקרים, נראה כיצד זיהוי ההתאבכות והבאתה לתודעת המטופל, מעמידה את המטופל במקום נפשי של בחירה ומודעות ומוציאה אותו ממקום של בלבול וחוסר שליטה. בנוסף, לעתים תהליך טיפולי נכון – המבוסס על זיהוי ההתאבכות והפרדת הרצונות – מאפשר למטופלים לקבל החלטות מודעות יותר, ולנוע לעבר חיים שיש בהם יותר בחירה ושלמות פנימית. בחרנו לנתח לעומק מקרה אחד מתוך שלושה, על מנת להמחיש את פרטי המודל. שני המקרים הנוספים נכתבו בקצרה אך תורמים להבנת המודל על ידי גיוון בפרטים ובהקשרים הטיפוליים.

מקרה א': התאבכות נפשית אצל ילד שגונב

כדי להבין היטב את יישום העקרונות התיאורטיים שהוצגו בפרקים הקודמים, ננתח כעת לעומק מקרה טיפולי קונקרטי ונתאר לפרטים את התהליך הטיפולי ואת השימוש בניסוי שני הסדקים כמודל טיפולי. מקרה זה יאפשר לנו לראות כיצד מצבים סותרים מתקיימים יחד בנפש, באופן המזכיר את *ניסוי שני הסדקים* מן הפיזיקה הקוונטית. כפי שיפורט בהמשך,

השימוש במודל זה – שבו גלים שונים יוצרים תבנית התאבכות עקב קיום בו-זמני של מסלולים אפשריים – מעניק תובנה עמוקה לדינמיקות הפנימיות של הנפש, ומסייע לזהות את המרכיבים שיוצרים את הקושי הנפשי.

במקרה שלפנינו, אב מביא את בנו המתבגר להתייעצות בעקבות דפוס מתמשך של גניבות. הדו-שיח הבא מתעד את שלבי הבירור, שבסופם נחשפת התאבכות בין שני רצונות מנוגדים, המובילה לדפוס ההתנהגות הפרדוקסלי.

תהליך היעוץ - תאור המקרה

אב הגיע עם בנו המתבגר לייעוץ בעקבות התמודדות מתמשכת עם גניבות. לדברי האב, כבר בילדותו נצפתה אצל הילד נטייה לגנוב חפצים קטנים, לרוב ממכולות שכונתיות. כל ניסיון חינוכי – שיחות, הסברים, והחזרת הגניבה – לא הביא לשינוי. עם השנים התופעה הלכה והחמירה: הגניבות עברו מחפצים קטנים לחפצים יקרי ערך, לרבות פריטים אלקטרוניים מחנויות, והילד אף נתפס פעמים אחדות בעת ביצוע המעשה. למרות מאמציהם החוזרים של ההורים להחזיר את הגניבות ולגבות את בנם בתהליך התיקון, הוא המשיך לחזור על המעשים.

תהליך היעוץ - תמלול השיחה

כעת נתאר את הדו-שיח שהתרחש בין היועץ לילד (ואביו) כדי לנסות להבין את תהליך העומק שהילד עבר במהלך היעוץ.

יועץ: אתה רוצה להפסיק לגנוב?

הילד: כן.

יועץ: אתה רוצה קצת או מאוד רוצה?

הילד: מאוד רוצה.

יועץ: אז למה אתה לא מפסיק?

הילד: אני לא יודע למה.

יועץ (לאב): לדעתך, למה הוא לא מפסיק?

האב: לדעתי הוא מאוד נמשך לדברים, פשוט לא מצליח להתאפק. מצד שני, הוא גם מבין שזה לא טוב, שזה פוגע בו.

יועץ (לילד): אתה מרגיש שזה נכון? הדברים שאתה גונב כל כך מושכים אותך שאתה לא יכול להתאפק?

הילד: אני לא יודע. מצד אחד כן, אני לא מתאפק, אבל מצד שני לפעמים אני בכלל לא משתמש במה שגנבתי. לפעמים אני פשוט זורק את זה.

יועץ: אתה שמח שאבא שלך יודע על זה?

הילד: כן, אני שמח שהוא יודע.

יועץ: ולפני שהוא ידע, רצית שהוא ידע?

הילד: לא.

יועץ: למה לא רצית לפני, ועכשיו אתה כן שמח שהוא יודע?

הילד: כי לפני זה היה קשה ולא נעים. גם לא ידעתי איך הוא יגיב. עכשיו, אחרי שהוא יודע, יש תחושת הקלה.

יועץ: התחושה הזו של הקלה – אתה מרגיש שזה עוזר לך?

הילד: כן.

יועץ: אם היית יודע מראש איך הוא יגיב, היית רוצה מההתחלה שיגלו לו?

הילד: כן.

יועץ: אולי כדאי שנספר גם לחברים שלך שזה מה שאתה עושה? אולי גם זה יקל עליך.

הילד: בשום אופן לא.

יועץ: למה לא? אולי גם זה יביא לך הקלה.

הילד: לא יודע להסביר, אבל אני לא מוכן.

יועץ: ואם נעשה את זה בלי לשאול אותך – אולי תודֶה לנו על כך אחר כך?

הילד: בשום פנים ואופן לא.

יועץ: אתה מבין למה זה שעכשיו אבא שלך יודע – מקל עליך?

הילד: ככה אני מרגיש. קשה לי להסביר במילים.

יועץ: אני אנסה להסביר ואתה תגיד אם זה נכון. כשאבא שלך לא ידע, הרגשת שיש ביניכם נתק, למרות שהוא התיחס אליך יפה. הרגשת שהוא אוהב מישהו אחר – לא אותך.

הילד: כן, זה מה שאני מרגיש.

יועץ: לפי אותו היגיון, גם החברים שלך – הם לא באמת חברים שלך, אלא של דמות אחרת. אם הם יֵדעו, הם יהיו חברים שלך באמת, וזה יקל עליך.

הילד: אני לא מרגיש ככה ואני לא מוכן שיספרו.

יועץ: מה קורה פה? מצד אחד אתה אומר שאתה לא רוצה לגנוב, מצד שני אתה ממשיך לגנוב. אתה לא מבין למה, כי אתה באמת לא רוצה לגנוב. אולי הסיפור אחר: מצד אחד אתה רוצה שהחברים יֵדעו, מצד שני אתה לא רוצה. אם יֵדעו – זו פדיחה, אבל לפחות הם יֵדעו מי אתה באמת. אם לא יֵדעו – זה נעים יותר, אבל הם לא חברים שלך אלא של דמות אחרת. כלומר, גם אתה רוצה שידעו, וגם אתה לא רוצה.

הילד: אני מבין שזה ככה, אבל עדיין לא מוכן שיספרו לחברים.

יועץ: לפי זה, בעצם אתה לא רוצה לגנוב – אבל אתה רוצה שידעו שאתה גונב.

הילד: אולי.

יועץ: אתה גונב לא בגלל שאתה רוצה את מה שאתה גונב, אלא כדי שיגלו שאתה גונב. אבל בגלל שזה לא נעים שידעו שאתה גונב לכן אתה עושה את זה באופן שלא יתפסו אותך.

הילד: לא נכון - אני לא רוצה שיתפסו אותי.

האב: לדעתי זה דווקא מתאר היטב את המצב. רואים את זה בגניבות עצמן – מצד אחד הוא נפגע כשמגלים אותו, מצד שני הוא גם לא עושה מאמצים אמיתיים להסתיר את זה.

כעת ננסה לנתח לפי המודל הקוונטי את ההתאבכות שהתרחשה בנפש הילד.

תהליך היעוץ והקבלה לניסוי הסדקים

כדי להבין את התהליך הטיפולי, יש לעמוד על ההבדלים בין שלוש נקודות המבט המרכזיות: זו של האב, זו של הילד עצמו, וזו של היועץ.

האב תופס את הסיטואציה כמאבק בין שני כוחות: מצד אחד, הרצון לגנוב – "הכח הדוחף", ומצד שני, הרצון שלא לגנוב – "הכח הבולם". מנקודת מבטו, לבסוף הכח הדוחף גובר, ולכן הילד גונב. זהו מודל מכניסטי שבו כל רצון פועל ככח בכיוון מסוים, והתוצאה נקבעת לפי יחסי הכוחות. מבחינת האב, הילד פשוט לא עמד בפיתוי, והרצון השלילי ניצח.

הילד, לעומת זאת, אינו חווה את עצמו כמי שנכנע לרצון חזק לגנוב. להיפך, הוא מתאר תחושה פנימית חזקה של אי-רצון – הוא באמת ובתמים לא רוצה לגנוב. ולמרות זאת, בסופו של דבר הוא כן גונב, מה שגורם לו לתחושת בלבול. מבחינתו, אם הוא לא רוצה לגנוב – לא אמורה להיות בכלל אפשרות לכך, בדיוק כמו באור, אם קיים מחסום מוחלט, אין דרך לאור לעבור. הילד מרגיש כאילו משהו עבר דרך סדק שהוא עצמו לא פתח, וזה בלתי מובן לו. הוא חושב שיש רק סדק אחד – הסדק של הרצון לגנוב – אבל סבור שזה סדק סגור. מבחינתו, לא אמור לעבור שם שום "אור" אל המסך והוא לא אמור לגנוב.

היועץ, לעומת זאת, מציע קריאה קוונטית לדינמיקה הנפשית. הוא מצביע על כך שהמחיצה אכן קיימת – הילד לא רוצה לגנוב. אבל משני צדיה, מימין ומשמאל, נפתחים שני סדקים שהילד כלל אינו מודע להם. הסדקים הללו אינם "הרצון לגנוב", אלא **הרצון שידעו שהוא גנב** (כלומר, שיאהבו אותו כפי שהוא), ו**הרצון שלא יידעו שהוא גנב** (כלומר, שיאהבו אותו כפי שהוא מצד רצונו האמיתי). שני סדקים אלו יוצרים תופעת **התאבכות נפשית**, שבה גלי הרצון משפיעים על ההתנהגות בפועל. הילד רואה את האור שמגיע למסך – כלומר, את עצם פעולת הגניבה – אך אינו מצליח להסביר איך זה ייתכן אם מבחינתו אין סדק. מצד אחד, הוא בטוח שאין רצון לגנוב (מחיצה), מצד שני – הפעולה כן מתבצעת. ההסבר טמון בכך שהאור לא עובר דרך הרצון לגנוב עצמו, אלא דרך סדקים אחרים – אליהם הוא לא מודע.

אם כן, מצד המציאות החיצונית, התנהגותו של הילד תואמת את מבטו של האבא, בסופו של דבר הילד גונב. אמנם, מצד הרצון שהנפש מנסה לבטא - הילד טוען שהוא אינו רוצה לגנוב ולא מצליח להבין מדוע הוא גונב בפועל - ולכן הוא מרגיש שהאבא לא מבין אותו. היועץ מסכים עם הילד שבאמת אין לא רצון לגנוב, אבל מסביר את התוצאה בכך שיש שני סדקים נפרדים, שכל אחד מהם מייצג רצון נפשי שונה (אבל בשניהם אין רצון לגנוב). היועץ מקביל בין ניסוי שני הסדקים למתרחש בנפש הילד באופן הבא:

- **סדק א'** - מבטא את הרצון שיאהבו אותו כפי שהוא, גם אם הוא גנב – אהבה שאינה תלויה בהתנהגות.
- **סדק ב'** - מבטא את הרצון שיאהבו אותו כפי שהוא היה רוצה להיות – ילד ישר, שאינו גונב.
- **מול המחיצה** – כלומר, מול עצם הפעולה של הגניבה – מתרחשת תופעה של "התאבכות נפשית": למרות שהילד טוען שאינו רוצה לגנוב (ושאין לו עניין ממשי בחפץ), הרי שדווקא אז מתגלה דפוס עומק שמושך אותו לפעולה – לא למען החפץ, אלא כדי לאפשר את המפגש של שני הרצונות א' ו-ב' גם יחד.

ההתאבכות שנוצרת בין שני הסדקים מביאה לתוצאה פרדוקסלית: הילד גונב – לא במטרה לגנוב אלא כאמצעי לבטא את הרצונות שקיימים בו. בכך, הגניבה הופכת להיות תוצאה של שני גלים נפשיים: גל שמבקש אישור לאהבה ללא תנאי, וגל שמבקש שיאהבו אותו בתור מי שרוצה רק טוב. ההתאבכות בין שני הגלים יוצרת סטיה במסלול האור וגורם לו להגיע לאזור שמול המחיצה (מה שמקשה על ההבחנה מהו הרצון האמיתי).

כאשר שני הרצונות הללו מתאבכים בתודעתו, הילד אינו מצליח להפריד ביניהם, וכך מתקבל דפוס התנהגות פרדוקסלי: **הוא ממשיך לגנוב – אך מתוך רצון לא מודע שיתפסו אותו**. בין אם הילד רוצה שחבריו ידעו (כדי שיאהבו אותו כמו שהוא) ובין אם לא (כדי שיאהבו אותו בתור מי שהוא רוצה להיות), המסקנה המעשית אמורה להיות לא לגנוב. כדי שחבריו ידעו שהוא גנב, הילד יכול פשוט לספר להם. כמו כן, כדי שחבריו לא ידעו שהוא גנב, עדיף לו כמובן להפסיק לגנוב. הבחירה של הילד להמשיך לגנוב, לכאורה, לא עונה על שום רצון שלו (אם כי הרצון הלא מודע שיתפסו אותו נובע מהרצון שידעו שהוא גנב).

אם נקביל זאת לניסוי הסדקים: שני הרצונות של הילד מיוצגים על ידי שני הסדקים. ללא תופעת ההתאבכות רוב חלקיקי האור אמורים להגיע לאזורים שמול שני הסדקים, כלומר בנמשל הילד אמור לפעול באופן שיתאים לכל אחד מהרצונות (לספר לחברים או להפסיק

לגנוב). אמנם כמו בניסוי שני הסדקים שכתוצאה מההתאבכות באור רוב החלקיקים מגיעים לאזור שבין הסדקים ומול המחיצה - אזור שהיינו מצפים שיגיע אליו מעט מאוד אור - כך גם ה'התאבכות בנפש' גורמת להתנהגות של הילד להיות בלתי צפויה כך שאינה תואמת אף אחד מהרצונות. באמצעות ניתוח מקרה זה, נראה כיצד ניתן לחשוף את דפוס ההתאבכות שבנפש הילד. כמו כן, בהתבסס על הדינמיקה של הבחירה שתארנו בחלק א' של המאמר, נוכל לזהות שני תנועות מחזוריות בנפש של הילד שיוצרות את הטבע הגלי של נפש הילד.

המחזור הראשון: הרצון להיות נאהב כפי שהוא

הילד חווה רצון עמוק שיאהבו אותו כפי שהוא, ללא תנאי, גם אם הוא גונב. אהבה זו מעניקה לו תחושת ביטחון ומאפשרת לו להרגיש שאינו חייב להשתנות כדי להיות ראוי לה. אך ככל שהוא נאחז יותר ברצון זה, כך מתעורר בו צד נוסף: הוא אינו רוצה להישאר כפי שהוא, ואינו רוצה שיגדירו אותו כגנב. עצם קבלת האהבה בתור גנב מחזקת את הזהות הזו, וככל שהוא חווה זאת יותר, כך הוא דוחה את האהבה הזו ומתרחק ממנה.

אבל כשהוא דוחה את אהבתו של האחר כלפיו, משום שאינו רוצה להיות גנב, עולה בו מחדש תחושת מחסור באהבה. כעת, הוא מרגיש צורך שיאהבו אותו כפי שהוא, כדי שהאהבה תהיה אמיתית ותואמת למצבו הנוכחי. כך נוצר מעגל מחזורי: הרצון לקבל אהבה ללא תנאי מוביל לדחייה שלה, והדחייה עצמה מחזקת מחדש את הצורך בה.

המחזור השני: הרצון להיות נאהב כאילו הוא אינו גנב

במקביל, הילד רוצה שיאהבו אותו כמי שאינו גונב, משום שהוא באמת אינו רוצה להיות גנב. אהבה כזו נתפסת בעיניו כאישור לכך שהוא יכול להיות טוב יותר, והיא מחזקת את שאיפתו להשתנות. אך ככל שהוא חווה יותר את האהבה הזו, כך מתעוררת בו תחושת זיוף – שכן במציאות, הוא עדיין גונב, והאהבה הזו אינה משקפת את מי שהוא באמת כרגע. תחושת הפער הזו גורמת לו לדחות את האהבה, משום שהיא אינה אמיתית בעיניו.

ברגע שהוא מתכחש לרצון שלו להשתנות ומוותר על אהבה זו, הוא חש ריקנות וגעגוע אליה מחדש. לכן ככל שאהבה זו מתרחקת ממנו, הוא שוב כמה אליה – כי היא מייצגת את הדמות שאליה הוא שואף להגיע. כך נוצר מחזור נוסף: הרצון לקבל אהבה שמבוססת על מי שהוא רוצה להיות, מוביל לדחייתה בשל הפער מהמציאות, והדחייה מחזירה את הכמיהה אליה.

שני מחזורי הרצון הללו פועלים במקביל ומתאבכים זה בזה. בשני המחזורים ישנו צד שהילד רוצה שיאהבו אותו כמו שהוא (גנב) אבל גם רוצה להשתנות (לא רוצה להיות גנב). מה שמתקבל הוא שלמרות שהילד לא רוצה לגנוב הוא גונב באופן שיתפסו אותו כדי שיפסיק לגנוב (אך עושה זאת באופן שישכנע - הן את עצמו והן את סביבתו - שניסה בכל כוחו שלא יתפסו אותו). כאמור, אם נקביל תופעה זו לניסוי שני הסדקים נוכל לומר ששני הגלים מתאבכים באופן הבא: גל שמבקש אישור לאהבה ללא תנאי מתאבך עם גל שמבקש שיאהבו אותו בתור מי שרוצה רק טוב וכתוצאה מכך האור מגיע לאזור אחר שנמצא איפשהו בין הסדקים מה שמתבטא בפועל בכך שהוא "בוחר לגנוב כדי להפסיק להיות גנב".

מקרה ב': שבויים משוחררים ותסמונת שטוקהולם

תסמונת שטוקהולם היא תופעה פסיכולוגית שבה אדם מפתח רגשות חיוביים כלפי מי ששלל את חירותו. אחד הביטויים של תופעה זו מופיע אצל שבויים משוחררים, שלמרות ששאפו לחופש במשך זמן רב, חווים געגוע לשובים ולרגעים חיוביים שחוו בשבי.

בהתאם לרעיון של ??? ולמושג ההתאבכות, ניתן לתאר את תסמונת שטוקהולם **כהתאבכות נפשית** שיוצרת מציאות רגשית לא רציונלית. על פניו, נראה שלשבוי המשוחרר יש רצון אחד - חופש, אבל בפועל הוא מפתח רגשות חיוביים כלפי השובים. לכאורה, הרגש החיובי שהשבוי מפתח כלפי שוביו הוא לא רצוני ולא רציונלי, אך באמת הוא מבטא רצון נסתר הגיוני מאוד.

אם נתבונן לעומק, נוכל לזהות אצל השבוי המשוחרר שני רצונות הפוכים. מצד אחד, לשבוי המשוחרר יש תענוג מהחופש ורוצה לחיות חיים חדשים, אך מצד שני, יש בו זכרון של תענוג לא מודע מעצם החיים (בתוך המתח בין חיים למוות) אותו הוא חווה במהלך השבי ואותו הוא רוצה לשמר. כאשר שני הרצונות הללו – הרצון להיות חופשי והרצון לשמר את החוויות שנוצרו בשבי – מתאבכים זה בזה, השבוי המשוחרר עלול לחוות געגוע לרגעים חיוביים בשבי או לפתח רגשות חיוביים כלפי מי ששלל את חירותו. באמצעות ניתוח מקרים של שבויים משוחררים, נבחן כיצד ניתן לזהות את דפוסי ההתאבכות הללו וכיצד טיפול נכון יכול

לסייע בהפרדת החוויות, כך שהמטופל יוכל לשלב את עברו בזהותו החדשה מבלי להרגיש משיכה לא מודעת אל השבי.

תסמונת שטוקהולם וניסוי שני הסדקים

נקביל את תסמונת שטוקהולם דרך ניסוי שני הסדקים באופן הבא:

כאשר שבוי משתחרר מהשבי, קיימות עבורו שתי חוויות נפרדות של תענוג:

1. **התענוג מעצם החיים בתוך מתח ההישרדות** – חוויה הקיימת במצב השרדותי, שבה כל רגע של הישרדות מקבל משמעות מועצמת בשל הקרבה לסכנה.
2. **התענוג מחיים פשוטים ושלווים** – חוויות של רווחה, ביטחון ושלווה, שהתקיימו לעיתים רחוקות בשבי אך מתקיימות בחיים נורמליים לאחר השחרור מהשבי.

לאחר השחרור, השבוי המשוחרר חווה את 'החיים הרגילים' כחיוורים לעומת מתח ועוצמת החיים שהיו בשבי. יתר על כן, כאשר הוא משחזר את חוויותיו, **נוצרת התאבכות בין שני סוגי התענוג**, והוא תופס את הרגעים החיוביים שחווה בשבי כחיוביים הרבה יותר ממה שהיו בפועל.

בדיוק כמו בניסוי שני הסדקים, שבו פתיחת שני הסדקים בו-זמנית יוצרת דפוסי התאבכות, כך גם כאן: השבוי המשוחרר אינו מבחין ששני סוגי התענוג פעלו יחד, ולכן החוויות החיוביות שהיו בשבי מתעצמות ונראות הרבה יותר חיוביות משהיו בפועל, כתוצאה מערבוב של שני סוגי תענוג שמתקיימים במצבים שונים (בשבי ובחופש).

המחזוריות שבחווית התענוג

כל חוויית תענוג מתקיימת במחזוריות פנימית, שבה עצם ההתנסות בחוויה מסוימת מולידה את הכמיהה להיפוכה. כאשר האדם משחזר את חווית המתח שהיתה שבי, הוא חווה בעוצמה את המשמעות והחיות שבמצב ההישרדותי, אך בו בזמן גוברת בו המאיסה בהשרדות והתשוקה לברוח ולמצוא חירות ורוגע. אולם ככל שהוא נכנס אל חווית החיים הרגועים הופכת השגרה לחסרת חיות, והוא מתגעגע לאותו מתח שהעניק לו תחושה

עוצמתית של חיים. מחזוריות זו מתרחשת בנפש בתדירות גבוה שוב ושוב מבלי שהוא מודע לה.

בדומה לכך, גם החופש עצמו פועל במחזוריות - מחזוריות שנראית כמעט זהה לקודמת אך למעשה בדיוק הפוכה ממנה[13]. האדם נכנס לתענוג שבחווית השלווה והביטחון, אך ככל שהוא נכנס לחוויה, השקט מתפרש אצלו יותר כריקנות, והוא מחפש את המתח שיחזיר לו את תחושת החיות. אמנם, ככל שהוא חוזר לחיים מלאי מתח ודינמיות, הכובד שבהם מגביר אצלו את הכמיהה לחיים פשוטים ושלווים, וחוזר חלילה. גם כאן המחזוריות מתרחשת בתדירות גבוהה מבלי שהאדם מודע לה.

שתי תנועות אלו מולידות יחד חוויה חדשה: האדם בוחר למזג בין שני המחזוריות בנקודות הדמיון וכך יוצר התאבכות באזור חדש במסך. האדם מחפש דרך לצקת אל תוך רגעי המתח אלמנטים של טוב פשוט – ליצור תחושה של יציבות ושלווה גם בתוך הדינמיות והלחץ, כך שחוויית הפשטות והשלווה לא תהיה תלויה רק בבריחה מהמתח, אלא תהפוך לממד פנימי שהוא נושא עמו בכל מצב. שילוב זה הוא למעשה 'התאבכות של גלי הנפש' שיוצרת את הגעגוע הלא-רציונאלי לרגעים 'הטובים' שהיו בשבי.

אם כן, תסמונת שטוקהולם, במקרה של שבויים משוחררים, אינה רק מנגנון הישרדותי פסיכולוגי, אלא גם תוצאה של דינמיקה קוונטית-נפשית של התאבכות בין חוויות ורצונות סותרים. ההכרה בכך יכולה לאפשר גישה טיפולית חדשה, שבה מודעות לתהליכי ההתאבכות מסייעת למטופל להפריד בין החוויות, להבין את מקומן האמיתי ולהשתחרר מדפוסים רגשיים בלתי מודעים.

מקרה ג': התאבכות נפשית ואשמה

כעת נדון במקרה בו התאבכות בין רצונות של המטופל הובילה לחווית אשמה בלתי רציונלית. במקרה הנדון, ילדה שנכחה כאשר אחיה התינוק נפל ונפטר (בהיותה ילדה קטנה), האשימה את עצמה בגיל מבוגר יותר במותו. הילדה התכנסה בתוך עצמה במקום לשתף את ההורים ועל ידי כתיבת מכתבים לאח שנפטר בטאה את הקשר שלה איתו. לאחר מות התינוק, ההורים בחרו להתמודד עם האובדן על ידי השקעה בילדים ובמשפחה ולא ישירות עם

[13] במקרים הקודמים כל רצון ייצר מחזוריות שונה ויחודית, אך במקרה הנוכחי, מכיון שהרצונות כל כך הפוכים זה מזה, התקבלו מחזוריות דומות אך הפוכות.

האובדן. יחס זה ייצר קונפליקט בנפש של הילדה: מצד אחד הילדה חפצה בקשר משמעותי עם האח שנפטר (משמעות שהיא לא מצאה בצורת ההתמודדות של ההורים), אך מצד שני היא רוצה קשר עם ההורים והזדהות עם הדרך החינוכית שלהם, כולל היחס לאובדן. הפתרון שהילדה מצאה, להאשים את עצמה ולהתכנס בתוך עצמה וכו', הוא פתרון לא הגיוני, שכן הילדה היתה קטנה כשהאח נפטר ולא היתה אחראית לכך. בנוסף, התגובה של התכנסות בתוך עצמה יוצרת מציאות הפוכה ממה שהיא לכאורה חפצה בה, מציאות של קשר עם ההורים.

אמנם, כפי שנראה, קונפליקט זה גרם לילדה להעניק פרשנות מוזרה לכל הסיטואציה. עבור הילדה, החוסר בהתיחסות ישירה לאובדן תורגם כך: אם ההורים לא מביעים צער עמוק כמו שהיא חשה, סימן שהם מרגישים פחות מעורבים או אחראים. מכאן התפתחה אצל הילדה לוגיקה פנימית שהתבססה על נוכחותה שלה בזמן המוות: אם ההורים אינם אשמים משום שלא היו נוכחים, הרי שמי שכן היה נוכח – כלומר היא עצמה – נושא באשמה כולה.

במצב זה ניתן לזהות התאבכות נפשית:

- **סדק א' – הרצון לקשר עם האח.**
- **סדק ב' – הרצון לקשר עם ההורים.**
- **התאבכות** - הילדה מנסה להישאר קשורה לאחיה התינוק באמצעות תחושת אשמה. תחושה זו הופכת למנגנון שמעניק משמעות לקשר ביניהם, גם לאחר מותו. כדי לגשר על הפער בין תחושותיה העמוקות לבין ההתמודדות השקטה של הוריה, היא מאמצת את ההנחה שהם אינם חשים את הכאב כמוה משום שאינם חשים באשמה.

מכאן נובע פתרון פנימי – אם היא תישא באשמה באופן מלא, היא תוכל לחוש יותר שייכות להוריה (בכך שתסביר לעצמה את צורת ההתמודדות שלהם עם האובדן) וגם לשמור על הקשר עם האח שנפטר, בכך שהיא מקבלת על עצמה את המטען הרגשי של האשמה.

שני מחזורים בקשרים המשפחתיים

ניתוח מעמיק של המבנה הרגשי מגלה שתי מחזוריות פנימיות שפועלות בנפש הילדה, שתיהן נסובות סביב הרצון למשפחתיות ולשייכות רגשית, אך יוצרות שתי תנועות מעגליות המתאבכות ביניהן.

המחזוריות הראשונה מתחילה מהרצון של הילדה לשמור על קשר עם האח שנפטר — ככל שהיא מתכנסת ושוקעת בתוך הקשר עם האח, היא מרגישה ששקיעה זו לוכדת אותה ומזיקה לה ולכן היא מרפה מהקשר עם האח. כאשר הקשר נעשה חלש היא שוב מתעורר הרצון לקשר וחוזר חלילה.
המחזוריות השנייה נמצאת בקשר עם ההורים: הרצון להזדהות עם ההורים מביא את הילדה לאמץ את דרך ההתמודדות השקטה שלהם. אמנם, הילדה יודעת שלהורים גם חשוב שיהיה קשר בין האחים ולכן היא מפתחת את הקשר עם האח. ככל שקשר זה מתחזק, היא מרגישה שהיא עושה הפוך מההורים ורוצה שוב לחזור ולהזדהות איתם ועם צורת ההתמודדות שלהם.

ההתלכדות של שני רצונות אלו מתיישבת אצלה רק כאשר היא מסבירה לעצמה שהיא אשמה וההורים לא. ככה היא מצליחה להכיל גם את ההזדהות עם ההורים וגם מאפשר שקיעה בקשר עם האח שנפטר.

כיוון טיפולי – זיהוי והפרדה של ההתאבכות

הדרך לסייע לילדה לצאת ממעגל האשמה הזה היא להביא לתודעתה את המבנה ההתאבכותי של רגשותיה. כאשר היא תוכל להבחין בין שני הסדקים – הקשר עם האח לעומת הקשר עם ההורים - היא תוכל להבין את הרצונות של הנפש ולמצוא דרך בריאה לבטא אותם.

באמצעות עבודה זו, הילדה תוכל להשתחרר מהמבנה ההתאבכותי של האשמה ולחוות את האבל שלה בצורה מאוזנת ובריאה יותר, מבלי שתחושת האחריות הבלתי הגיונית תכביד עליה לאורך חייה.

מקרה ד': שיתוק כתוצאה מהתאבכות

בחור שנפגע בעמוד השדרה היה בסכנת חיים. בעקבות כך נכנס למצב של קומה (תרדמת), ולאחר תהליך טיפולי ארוך ומורכב ניצל – אך נותר משותק ברגליו. לפי ממצאי הבדיקות, חוט השדרה שלו נפגע אך לא נקרע כליל. משמעות הדבר, על פי מחקרים רבים, היא שהוא אמור להיות מסוגל ללכת. מנגד, הרפואה מסיקה מכך שהוא אינו מצליח להניע את רגליו, כי תאים קריטיים בחוט השדרה נפגעו – אף שאין ראיה ישירה לכך.

לאחר ייעוץ ראשוני והבנת המקרה - ומתוך ההנחה שכל עוד חוט השדרה אינו קרוע ושדרים חשמליים מסוגלים להגיע לרגליים וייתכן שהשיתוק נובע מסיבה נפשית – הוצג בפני הבחור הסבר אפשרי למצבו. נביא כאן את עיקרי ההסבר שנמסר לו.

מחזוריות של התלבשות הנפש בגוף

נפש האדם מלובשת בגוף באופן שבו מצד אחד האדם חש שהוא נמצא בתוך גופו, והגוף מבטא אותו. מצד שני, הוא אינו הגוף עצמו, והוא אף מסוגל להתבונן בגופו כמשהו חיצוני לו. שני צדדים אלו מתקיימים בו זמנית, וניתן לתארם כתנועה מחזורית: ככל שהנפש מתלבשת יותר בגוף – כן היא חפצה לשוב ולהתכנס אל עצמה, להימנע מלהיתפס בתוך הגוף. וככל שהיא מתכנסת אל עצמה – גוברת גם תשוקתה להתבטא ולהתלבש בגוף.

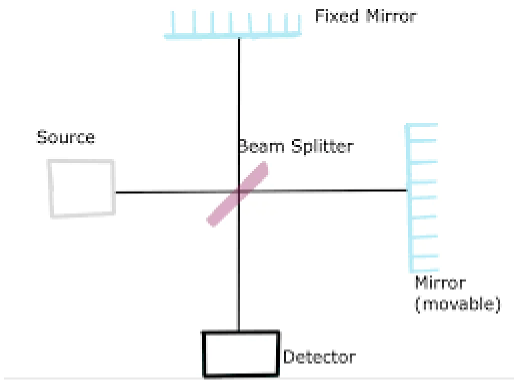
בתחושתנו הרגילה, כל המצבים הללו מתקיימים יחד – ולכן הנפש מתלבשת בגוף ואנו מסוגלים להניע את הידיים והרגליים (הרגליים הן למעשה "קצה הגוף", המקום המרוחק ביותר שאליו הנפש מגיעה). בעקבות הטראומה של הקומה נוצר אצל הבחור פיצול שגרם להתאבכות הורסת, כפי שנסביר, שהתוצאה שלה היא שיתוק הרגליים.

מד-התאבכות כמשל

אם נדמה את המחזוריות הזו למחזוריות של גל אור, נוכל להיעזר בדימוי של מד-התאבכות כדי להסביר את הפיצול שנוצר והוביל להתאבכות הורסת. במד-התאבכות יש מקור אור

וחיישן שמודד את עוצמת האור (או סופר פוטונים). אילו האור היה עובר ישירות מן המקור אל החיישן – היה החיישן קולט את כל האור. אך במד-התאבכות המסלול מורכב יותר: האור פוגע במפצל (עשוי חצי-מראה באלכסון) שמעביר חצי מן האור ומחזיר את חציו האחר בזווית של 90 מעלות כלפי מעלה. שני חלקי האור (השעבר והשהוחזר) פוגעים במראות שמחזירות אותם חזרה אל המפצל. בשלב זה המפצל מתפקד כ"מאחד": האור שעבר קודם מוחזר לעבר החיישן, והאור שהוחזר קודם עובר עתה דרך המפצל – גם כן לעבר החיישן. כלומר, שני המסלולים שבים ומתאחדים בדרכם אל החיישן.

ההתאבכות מתרחשת כאשר יש הפרש פאזה בין שני המסלולים. במסלול המוחזר מן המפצל נוצרת סטייה פאזית (כתוצאה ממקדם השבירה של המראה), כך שכאשר שני גלי האור נפגשים – ייתכנו מצבים של התאבכות הורסת מוחלטת, שבה כל האור מתבטל ושום פוטון אינו מגיע אל החיישן.



הנמשל והייעוץ

נשוב כעת למקרה הטיפולי: מד-ההתאבכות מדמה את מצבו הנפשי של המטופל שעבר קומה. הטראומה, יחד עם הנטייה הטבעית של הנפש להתכנסות פנימה בעת סכנה, גרמה לפיצול. במצב רגיל, האדם תופס את שני הקטבים של המחזוריות כאחד, ולכן הנפש מתלבשת בטבעיות בגוף. אך אצל המטופל נוצר פיצול ממשי, כאילו הוצב "מפצל" במרכז מסלול התנועה של הנפש, אשר יצר שתי מחזוריות עם נקודות מוצא או מצבים הפוכים. נקודת המוצא או הפאזה הראשונית של המסלול המוחזר (זה שקיבל הפרש פאזה) מייצג את מצב הנפש בעת הקומה – רצון להתכנסות פנימה; בעוד המסלול הישר מייצג את נקודת המוצא של מגמת ההתלבשות בגוף. אצל המטופל, שני מצבים אלו קיימים בו זמנית אך

מנותקים: מחד – רצון עז ללכת ולהניע את הרגליים; ומאידך – שיתוק ברגליים כמו בזמן הקומה.

התוצאה היא בדיוק כמד-התאבכות: שתי מגמות מחזוריות נפגשות אך סותרות זו את זו – ונוצרת התאבכות הורסת. המטופל חש רצון ללכת אך גם חוסר יכולת – לא מסיבה גופנית, אלא בשל ההתנגשות בין שתי פאזות נפשיות: (א) הנפש רוצה להתלבש בגוף (להגיע עד לרגליים); (ב) הנפש אינה רוצה להיתפס בגוף (ולכן נמנעת מהרגליים). החיבור של שתי הפאזות הללו יוצר את תחושת הסתירה – רצון ללכת מול חוסר יכולת ללכת.

במהלך הייעוץ הוצג בפני המטופל הסבר זה, תוך שימוש בהדמיה של מד-התאבכות להמחשה. המטופל תיאר כי במהלך השיחה החל לחוש זרמים חשמליים-עדינים ברגליו. יומיים לאחר מכן עדכן כי הצליח להניף את אחת מרגליו.

סיכום

רשימת חידושים:

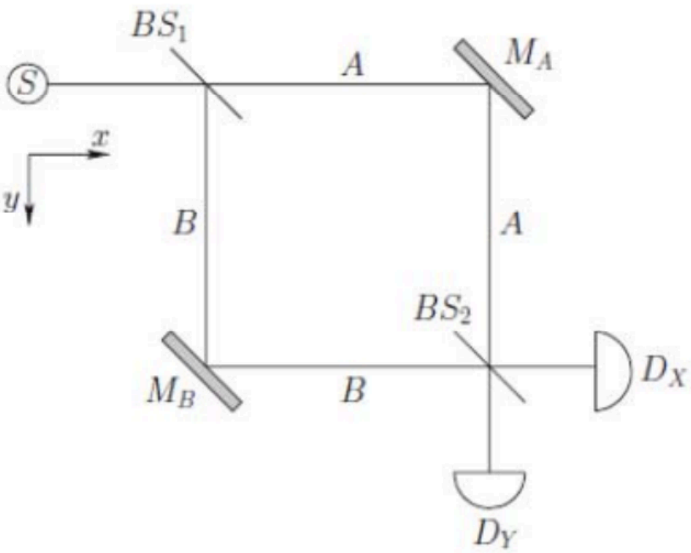
- בחירה
- תענוג ורצון לעומת שכל
- תנועה מחזורית
- מחשב גם כן וגם לא

נספח א': מד-התאבכות

כעת נביא המחשה נוספת לתהליך קבלת החלטות, על ידי הקרנה של אור דרך מד-התאבכות ("אינטרפרומטר"). נעזר במד-התאבכות הדומה לסוג 'מאך-זנדר' אשר מפצל קרן אור לשתי קרניים שעוברות דרך גאומטרית זהה (אך דרך אופטית שונה, עקב מעברם של קרני האור בתווך שונה), ובהקשרים שונים משמש בין היתר לבדיקת תכונות של חומרים (התווך בו עובר האור). לדוגמא, על ידי הצבת חומר כלשהו בדרכה של אחת הקרניים ניתן לדעת משינוי פאזת הקרן את טיב החומר וצפיפותו. אלומת קרני אור מקבילות מפוצלת על ידי מראה דיאלקטרית (כלומר עשויה חומר מבודד ושקוף) המשמשת כמפצל אלומות. שתי האלומות המתקבלות משתקפות כל אחת במראה ולאחר מכן עוברות במפצל נוסף ונכנסות לשני גלאים. הפרשי הפאזה שבין שתי האלומות תבוא לידי ביטוי בתבנית ההתאבכות שתתקבל בגלאים. כאשר נעביר במד-התאבכות פוטונים בודדים, במקום גלי אור, חיישני ההתאבכות יפעלו למעשה כ'מוני פוטונים'. במצב כזה, תופעת ההתאבכות תהיה בעלת משמעות סטטיסטית כפי שקובעת תאוריית הקוונטים.

מד-התאבכות: תאור אופטי

נתבונן בתרשים של מד-ההתאבכות:



S הוא מקור האור, BS1 ו-BS2 הם מפצלים, MA ו-MB הם מראות ואילו DX ו-DY הם גלאיי פוטונים. האור שמוקרן מ-S מתפצל למסלול A ומסלול B, כאשר כל מסלול עובר דרך

תווך שונה. מפצל BS1 מפצל את האלומה הנכנסת מכיון X לפי חלוקת העברה\החזרה של T1/R1 ואילו מפצל BS2 מפצל את האלומה מכיון X לפי חלוקה של T2/R2. נעיר, שאנו נעשה שימוש במפצלים העשויים מחומר דיאלקטרי שפעולת ההחזרה שלהם נעשית במעבר בין הזכוכית לאויר (מקדם שבירה גבוהה לנמוך) כך שהמפצלים לא יגרמו להפרשי פאזה של חצאי אורך גל בין הקרניים המוחזרות למועברות אלא רק לסטיות פאזה כתוצאה מהמעבר דרך הזכוכית. סך סטיות הפאזה הנגרמות מהמעבר בזכוכית של המפצלים יהיו זהים בשתי האלומות המגיעות לגלאים כך שלמעשה לא יווצר הפרש פאזה כתוצאה מהמפצלים (אלא רק מהתווך). כמו כן, שתי האלומות יעברו שינוי פאזה של חצי אורך גל בהחזרה מהמראות MA ו-MB כך שגם מהמראות לא נקבל הפרש פאזה. ההבדל בין הפאזות יווצר אך ורק בעקבות ההבדלים בין מקדמי השבירה בתווך של שני המסלולים (כלומר, ללא תווך נקבל התאבכות בונה\הורסת כיוון ששני הגלים מגיעים באותה פאזה).

כאשר גלי האור עוברים דרך התווך, השדות החשמליים והמגנטיים של האור יניעו את האלקטרונים שבחומר התווך שיתנודדו באותה תדירות כמו תדירות גלי האור. כתוצאה מהתנודדות האלקטרונים, יווצרו שוב, שדות מגנטיים וחשמליים (בדומה לאלו של האור המקורי) ששוב יניעו את האלקטרונים וכו' וכך ימשיכו להתקדם לאורך התווך. ה'עיכוב' שיווצר כתוצאה ממעברי האנרגיה הנ"ל, יוצר הפרש פאזה בין האור שנכנס לתווך, לאור שיוצא ממנו. תדירות האור תשאר זהה לאורך כל הדרך, אך המהירות וממילא גם אורך הגל ישתנו בתוך התווך. לכן, כאשר האור יצא מהתווך ויחזור לנוע במהירות המקורית עם אורך הגל המקורי, ההבדל היחיד שנמצא בין האור הנכנס לאור היוצא הוא הפרש הפאזה.

מד-התאבכות: הקבלה לניסוי התנהגותי - ניסוי הכרטיסים

כדי ליצור מד-התאבכות שידמה מצב נפשי, נכוון מפצל אחד כך שיפצל את האור לפי יחס של מקדמי פונקציות הנפש, ומפצל שני כך שיפצל לפי מקדמי פונקציות המציאות. לדוגמא, אם נדמה מצב נפשי של סטודנטים בניסוי של שפיר וטברסקי, נתכנן את המפצל הראשון (המיצג את פונקצית הנפש) כך שיפצל לפי היחס המנורמל של אחוזי הקונים בין התלמידים שעברו ושנכשלו:

$$T_1 = \sqrt{\frac{0.57}{0.54 + 0.57}} = 0.7165\ ;\ R_1 = \sqrt{\frac{0.54}{0.54 + 0.57}} = 0.6497$$

ואילו את המפצל השני (המיצג את פונקצית המציאות) נתכנן כך שיפצל את האור לפי יחס של 50:50 (ההסתברויות שעבר\נכשל במבחן):

$$T_2 = \sqrt{0.5}\,;\, R_2 = \sqrt{0.5}$$

כעת נדמה כל תלמיד לפוטון. חיישן אחד ימדוד את מספר הפוטונים (תלמידים) שיקנו כאשר הם לא יודעים אם עברו את המבחן ואילו החיישן השני ימדוד את אלו שלא יקנו במצב זה. כדי לחשב את מספר הפוטונים שיגיעו לגלאים DX ו-DY, נתאר את המצב של כל פוטון בתור וקטור ואת הפעולה שהמפצל פועל על הפוטון בתור מטריצה. וקטורי המצב של פוטונים שנעים לאורך צירים X ו-Y יתוארו כך:

$$\varphi_x = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix};\ \varphi_y = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

המפצלים יוגדרו באופן הבא:

$$BS_1 = \begin{bmatrix} 0.7165 & 0.7165i \\ 0.6497i & 0.6497 \end{bmatrix}\ BS_2 = \begin{bmatrix} \sqrt{0.5} & \sqrt{0.5} \\ \sqrt{0.5} & -\sqrt{0.5} \end{bmatrix}$$

התווך דרכו האור עובר במסלול A יוגדר כך:

$$X = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & e^{i\Delta\phi} \end{bmatrix}$$

ההסתברות שפוטון יגיע לחיישן Dx ו-Dy תחושב באופן הבא:

$$P(D_x) = \left| < \varphi_x | B_1 X B_2 | \varphi_x > \right|^2$$

$$P(D_x) = \left| < \varphi_y | B_1 X B_2 | \varphi_x > \right|^2$$

או בכפל מטריצות:

$$P(D_x) = \left\| \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sqrt{0.5} & \sqrt{0.5} \\ \sqrt{0.5} & -\sqrt{0.5} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & e^{i\Delta\phi} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.7165 & 0.7165i \\ 0.6497i & 0.6497 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \right\|^2 =$$

$$= \sqrt{0.5}(0.71 + 0.64e^{i\Delta\phi})\sqrt{0.5}(0.71 + 0.64e^{-i\Delta\phi}) =$$

$$= 0.5(0.71^2 + 0.64^2 + 2 \cdot 0.64 \cdot 0.71 \cdot cos\Delta\phi)$$

$$P(D_y) = \left\| \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sqrt{0.5} & \sqrt{0.5} \\ \sqrt{0.5} & -\sqrt{0.5} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & e^{i\Delta\phi} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.7165 & 0.7165i \\ 0.6497i & 0.6497 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \right\|^2 =$$

$$= 0.5(0.71^2 + 0.64^2 - 2 \cdot 0.64 \cdot 0.71 \cdot cos\Delta\phi)$$

לבלבול שנגרם כתוצאה מאי-ידיעה, האדם יכול להפריד במחשבתו בין המקרים השונים (לדוגמא: עבר את המבחן או נכשל בו) ולחשב כל אחד בנפרד. באופן זה, המדידות נעשות בנפרד בדומה להפרדת המסלולים במד-התאבכות, כך שכל מסלול מייצג אפשרות אחרת במציאות.

הדרך השניה, היא נסיון פנימי או חיצוני להשפיע על הפאזה, כלומר, על הסתירות בין הרצונות השונים בנפש. לדוגמא, יכול להיות שניתן במקרים מסוימים להשוות בין הרצונות הסותרים שמתעוררים בנפש. במובן הזה, יצירת הפרש פאזה של 90 מעלות, יעשה על ידי שימת לב לכך שהתענוג הפשוט בנפש (ללא שום רצון) באפשרות א' מופיע כרצון להתממש באפשרות ב'. אם ניקח כדוגמא את המקרה של החופשה, דרך ההשפעה תהיה שהתלמיד ישים לב שהתענוג הפשוט מעצמו שקיים כשעבר את המבחן, מופיע דווקא כרצון להתענג מהחופשה כשהוא לא עבר (מכיון שהצער גורם לו לא להתענג מעצמו). כמו כן, התענוג המורכב מהחופשה כשהתלמיד עבר את המבחן יתורגם דווקא כרצון להתענג מעצמו כשהוא לא עבר, כדי לא להרגיש שהחופשה מכריחה אותו להתענג ושאין לו תענוג מעצמו. בנוסף, השפעה על הפרשה הפאזה עשויה להעשות על ידי גורם חיצוני שמתערב בתהליך קבלת ההחלטות בדומה למה שקורה במד ההתאבכות.

השפעה על מדידות מד-ההתאבכות

ישנן שתי דרכים בהן ניתן להשפיע על תוצאות מדידות החיישנים במד-ההתאבכות:

1. הפרדת המסלולים על ידי הסרת המפצל שמאחד חזרה את הקרניים, כך שבפועל כל קרן מגיעה לחיישן אחר בלי שישפיעו אחת על השניה. לכן, להפרש הפאזה לא תהיה השפעה על המדידות.
2. שינוי התווך X כך שיתקבל הפרש פאזה שונה בין המסלולים. לדוגמא, על ידי יצירת הפרש פאזה של 90 מעלות, יתקבלו מדידות זהות למקרה של הפרדת מסלולים.

מבחינה נפשית נוכל לדמות שתי דרכים אלו לצורות השפעה על הדינמיקה הנפשית בקבלת החלטות. בדרך הראשונה, על ידי מודעות גבוה ניסוי במד-התאבכות

נספח ב' - הסתברות בריבוי מימדים

הקדמה

בתחילת פרק ג' (חלק א') של המאמר, הארכנו להסביר את ההבדלים בין גישת הקוגניציה הקוונטית לגישת הבחירה הקוונטית. בפרט, ראינו את ההבדלים באופן שבה כל גישה מתייחסת להערכת המציאות והשפעתה של זו על ההסתברות לקבלת הכרעה מסוימת. ראינו שהקוגניציה הקוונטית מתייחסת להסתברות של כל אפשרות להתקיים (לדוג' לזכות בהגרלה או להפסיד) באופן זהה להסתברות של כל בחירה (ולכן משרעת הגל שווה לשורש של מכפלת שני גדלים אלו). לעומת זאת, לפי הבחירה הקוונטית ישנו הבדל מהותי בין שני גדלים אלו. בעוד שההסתברות של מצב להתקיים (לזכות בהגרלה וכד') הוא בלתי תלוי בבחירת האדם, ההסתברות של כל אפשרות בחירה היא לגמרי בבחירת האדם. בנספח זה, ננסה לבסס חילוק זה באמצעות תאור גאומטרי של מרחב הבחירה וכך להבין את ההבדלים בין סוגי ההסתברויות.

הסתברות בפועל והסתברות בכח

נתבונן בשתי שאלות דומות אך שונות:

1. מה ההסתברות ששחקן אקראי שיודע אם זכה או הפסיד בהגרלה, המשיך להגרלה השניה - בהנחה שאני לא יודע אם הוא זכה או הפסיד בהגרלה?
2. מה ההסתברות שאני בתור שחקן שלא יודע אם זכה או הפסיד בהגרלה הראשונה, אמשיך להגרלה השניה?

נוכל לומר שנוסחת ההסתברות השלמה נועדה לענות על שאלה 1, בעוד שנוסחת ההסתברות הקוונטית אמורה לענות על שאלה 2. עלינו לשים לב שבאופן כללי, שאלה 1 מדברת על מדידת הסתברויות שקרו בפועל, לעומת זאת שאלה 2 מתמודדת עם מדידת הסתברות שעוד לא התבצעה בפועל. אם כן, בכללות נוסחת ההסתברות השלמה עוסקת בהסתברות בפועל, בעוד שנוסחת ההסתברות הקוונטית עוסקת בהסתברות בכח. בניסוח אחר, ההבדל בין המצבים המוצגים בשתי השאלות הוא שבשאלה 1 אין בחירה, בעוד שבשאלה 2 קיים יסוד של בחירה חופשית.

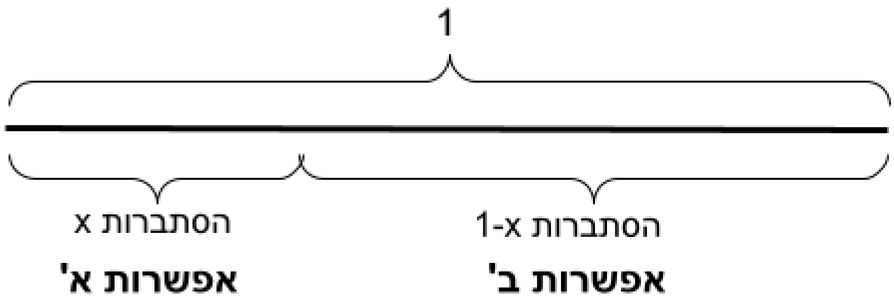
בקווים כלליים נאמר שהטבע של מצב של 'בפועל' דומה להתנהגות קלאסית מכנית. כל גוף הוא דבר ממשי ונקודתי אותו ניתן לזהות בפועל (מיקום, גודל וכו'). לעומת זאת, מצב של 'בכח' מתאים לתאור של גל של אנרגיה. הגל נמצא בו זמנית במספר מקומות והוא נעשה 'בפועל' רק כאשר הוא נמדד. תאוריית הקוונטים מחברת את שני המצבים של בפועל ובכח, של גל וחלקיק באמצעות משוואת ההסתברות הקוונטית (שמקבלת משוואת גל אך מחזירה הסתברות עבור חלקיק) וכך מתארת את כל המציאות.

מרחב האפשרויות

כעת נתייחס לאופן בו הבחירה משפיעה על תפיסת המציאות שלנו. הבחירה עושה שבמקום להתייחס לאפשרויות להכריע (לדוגמא להמשיך להגרלה שניה או לפרוש) כמציאויות קיימות המתנגדות אחת לשניה, כל אפשרות הופכת להיות באמת רק 'אפשרי המציאות' ולא מציאות קיימת. כלומר אני יכול לבחור באפשרות ויכול גם לא.

מימד אחד

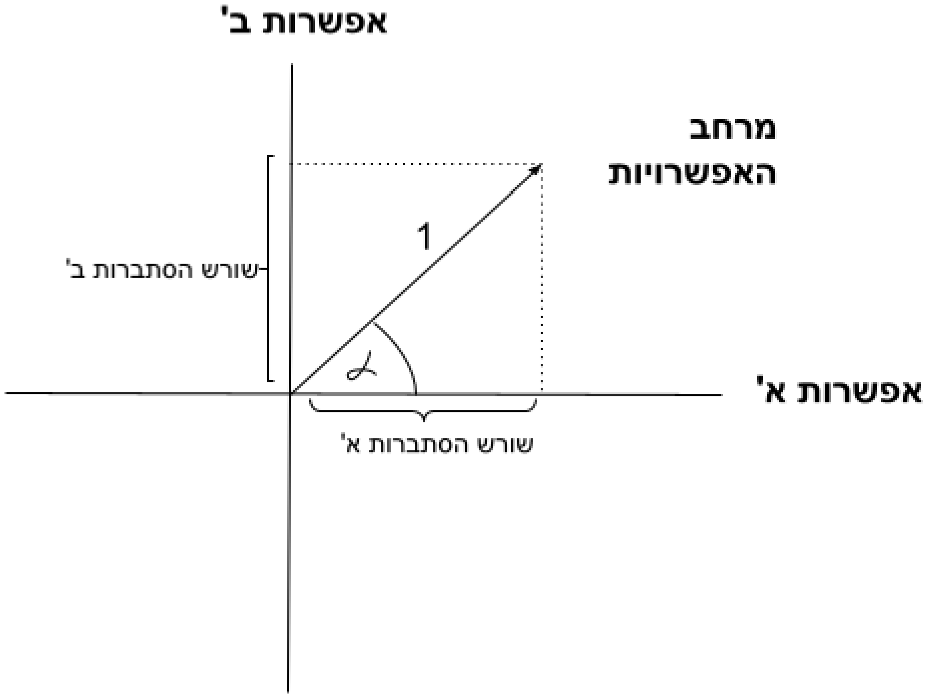
כפי שהסברנו, נוסחת ההסתברות השלמה משמשת עבור הכרעות שכבר קרו בפועל. מבחינה גאומטרית, כדי להציג הסתברויות של ארועים או הכרעות שקרו בפועל, מספיק לנו מימד אחד. מכיון שהכרעה כבר קרתה, המציאות תמיד תתאים רק לאחת משתי האפשרויות ולכן שתיהן יושבות על מימד אחד והארוע שקרה בפועל ימוקם באחד משני אזורי ההסתברויות. מכיון שההסתברות שאחת מהאפשרויות תקרה בפועל היא ודאית (1), לכן סך גודל ההסתברויות צריך להשלים לאחד.



לעומת זאת, במצב ההיולי שקודם להכרעה במציאות, הנפש נמצאת במצב של (יכולת) בחירה. במצב בחירי זה, הנפש מביעה את הרצונות השונים שבה. אם ניקח לדוגמא את ניסוי ההגרלות, הנפש רוצה גם להמשיך להגרלה הבאה וגם לפרוש. אם נדייק, הנפש נמצאת כל הזמן בשתי האפשרויות בו זמנית ומכיון שעדיין לא נעשתה הכרעה, המציאות הנוכחית (של טרום הכרעה) נושאת את שתי האפשרויות יחד. מצב זה מוליד בנפש חוויה כאילו שתי האפשרויות יכולות להתממש בו זמנית (מבלי שיסתרו אחת את השניה). מכיון שכל אפשרות נחווית כממומשת, לכן כביכול ההסתברות של מצב היולי זה חורגת מאחד שלם.

כדי לתאר גאומטרית את מצב הבחירה בו כמה אפשרויות קיימות בו זמנית, נצטרך להגדיר מרחב רב-מימדי, אותו נכנה: **'מרחב האפשרויות'**. לדוגמא, כדי לתאר מצב של בחירה בין שתי אפשרויות (לפני הכרעה) נגדיר מרחב דו-מימדי, כאשר מימד אחד מייצג את אפשרות א' ומימד שני את אפשרות ב' (במקרה שיש יותר משתי אפשרויות נוסיף מימדים למרחב האפשרויות). בתוך מרחב זה (מישור, בדוגמא הנ"ל) נייצג מצב נפשי-בחירי בתור נקודה במרחב, כאשר שתי קואורדינטות הנקודה מייצגות את המשקל שהנפש נותנת לכל אפשרות. כדי לבטא את העובדה שישנה הסתברות ודאית להכריע כאחת האפשרויות, נמקם את הנקודה הנ"ל במרחק של 1 מראשית הצירים (כלומר, הנקודה יושבת על מעגל היחידה). החוויה בנפש כאילו שתי האפשרויות יכולות להתממש בו זמנית דומה לניסיון לחבר את ערכי הקואורדינטות ולצפות שישלימו לאחד. כאמור, ההסתברויות משקפות את ההכרעות בפועל ואילו המשקלים (הבאים לידי ביטוי בערכי הקואורדינטות) את כח המשיכה להכרעה מסוימת. אם ההסתברויות היו זהות למשקלים היינו מקבלים סכום הסתברויות גדול מאחד, לכן, למרות שבמצב של טרום הכרעה הנפש מרגישה כאילו שתי האפשרויות קיימות בפועל, צריך לשים לב, שלא מדובר בהסתברויות בפועל אלא במשקלים בכח. לפי משפט פיתגורס, אם נרבע את המשקלים ואז נחבר, נמצא שסכום הרבועים הוא אחד. לפי זה, הרבוע של כל קואורדינטה מייצג את ההסתברות להכריע כמו האפשרות של אותו מימד.

למעשה, הדרך הנוחה יותר לתאר מצב של בחירה היא לא בנקודה במישור, אלא בוקטור יחידה (באורך 1):



וקטור מוגדר על פי קורדינטות ראש הוקטור (הזנב שלו תמיד בראשית הצירים). לכן, בדומה לנקודה שעל מעגל היחידה, גם כאן, ממשפט פיתגורס נובע שסכום ריבועי ההיטלים של הוקטור ישלימו לאחד. כאמור, הגודל אחד מתאר את ההסתברות להכריע כאחת מהאפשרויות בפועל. אם נתייחס להיטלים על צירי האפשרויות השונות כמשקל שהנפש נותנת לכל אפשרות, המשקלים יחושבו כך:

משקל של אפשרות א' בנפש: $w_1 = cos(\alpha)$

משקל של אפשרות ב' בנפש: $w_2 = sin(\alpha)$

היחס בין המשקל של כל אפשרות להסתברות להכריע כאפשרות זו הוא שההסתברות תהיה רבוע המשקל (שהוא ההיטל של וקטור הנפש על המימד שמייצג את אותה הסתברות).

לפי זה, ההסתברות לאפשרות א' תחושב כך: $P_1 = cos^2(\alpha)$

ואילו ההסתברות לאפשרות ב' תחושב כך: $P_2 = sin^2(\alpha)$

לכן, לפי משפט פיתגורס סכום ההסתברויות יהיה שווה אחד:

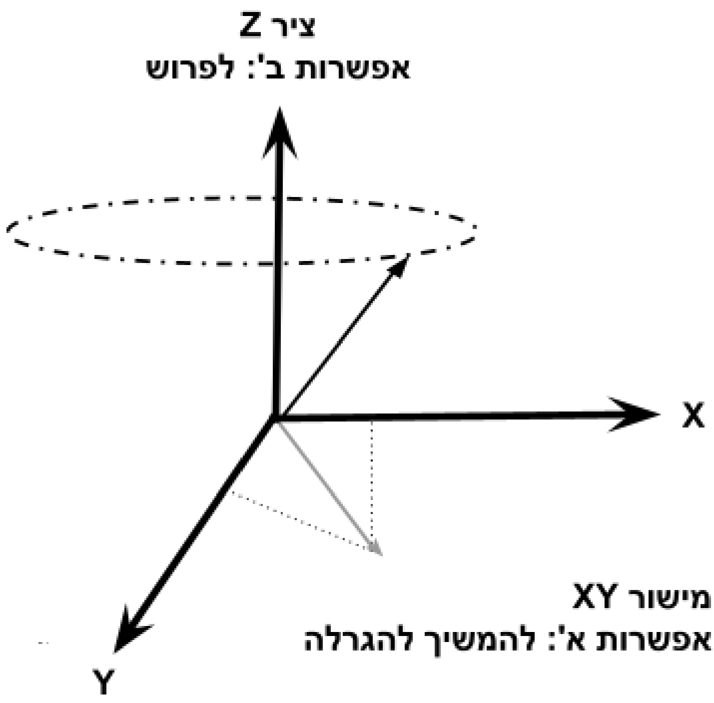
$$P_1 + P_2 = cos^2(\alpha) + sin^2(\alpha) = 1$$

לפני שנתייחס למצב של אי-ודאות, נוסיף מימד אחד למרחב הבחירה הנ"ל. מדוע אנו נזקקים למימד נוסף? מכיון שבבחירה הנפש לא רק 'רוצה' ו'לא רוצה' בו זמנית בשתי האפשרויות, אלא גם כל רצון בפני עצמו (לאפשרות מסוימת אחת) הוא דינמי ומחזורי. המשקל שהנפש נותנת לכל אפשרות, נובעת מכמה הנפש נמשכת לאותה אפשרות, כפי שהוסבר במאמר, עוצמת משיכה זו היא מחזורית. בקצרה נאמר, שמחזוריות זו היא חלק מהותי לבחירה. ככל שאדם 'נסחף' לאפשרות מסוימת הוא גם לא רוצה להרגיש מחויב לה ולכן כדי לשמור על הבחירה החופשית הוא גם מסתייג מבחירה זו.

בתור המחשה גאומטרית נוכל לצייר שעבור כל אפשרות, הוקטור שבמרחב האפשרויות, מסתובב סביב הציר המאונך לאותה אפשרות, כך שההיטל על ציר האפשרות משתנה בצורה מחזורית. סיבוב זה הוא שפורש את המימד השלישי בנפש והוא זה שיוצר את תופעת ההתאבכות, כפי שנסביר.

לשם המחשה, אם נתבונן באפשרות א' - להמשיך לעוד הגרלה - נאמר שוקטור הנפש יסתובב סביב ציר Z שמייצג את האפשרות לפרוש. אורך ההיטל על ציר X - האפשרות להמשיך - תתחלק כעת בין ציר X לציר Y. ציר X ייצג עבורנו את המימד בנפש שסוחף להכריע להמשיך להגרלה הבאה, ואילו ציר Y את המימד של עצמאות ואי-תלות בהגרלה. הדינמיקה שקיימת בנפש גורמת לוקטור הנפש להסתובב וכך המצב של הוקטור משתנה, וההסתברות להכריע כאפשרות א' מתפרסת על שני מימדי מישור XY.

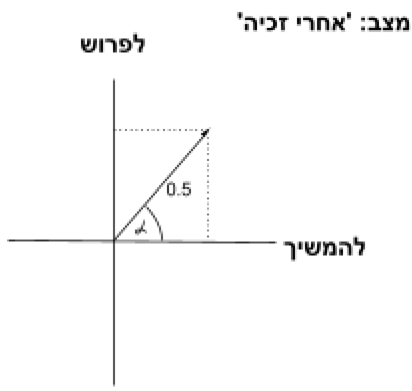
מרחב
האפשרויות

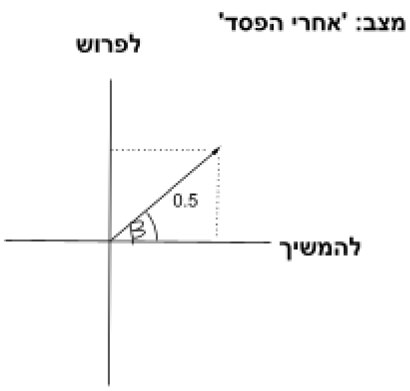


מצב אי-ודאות

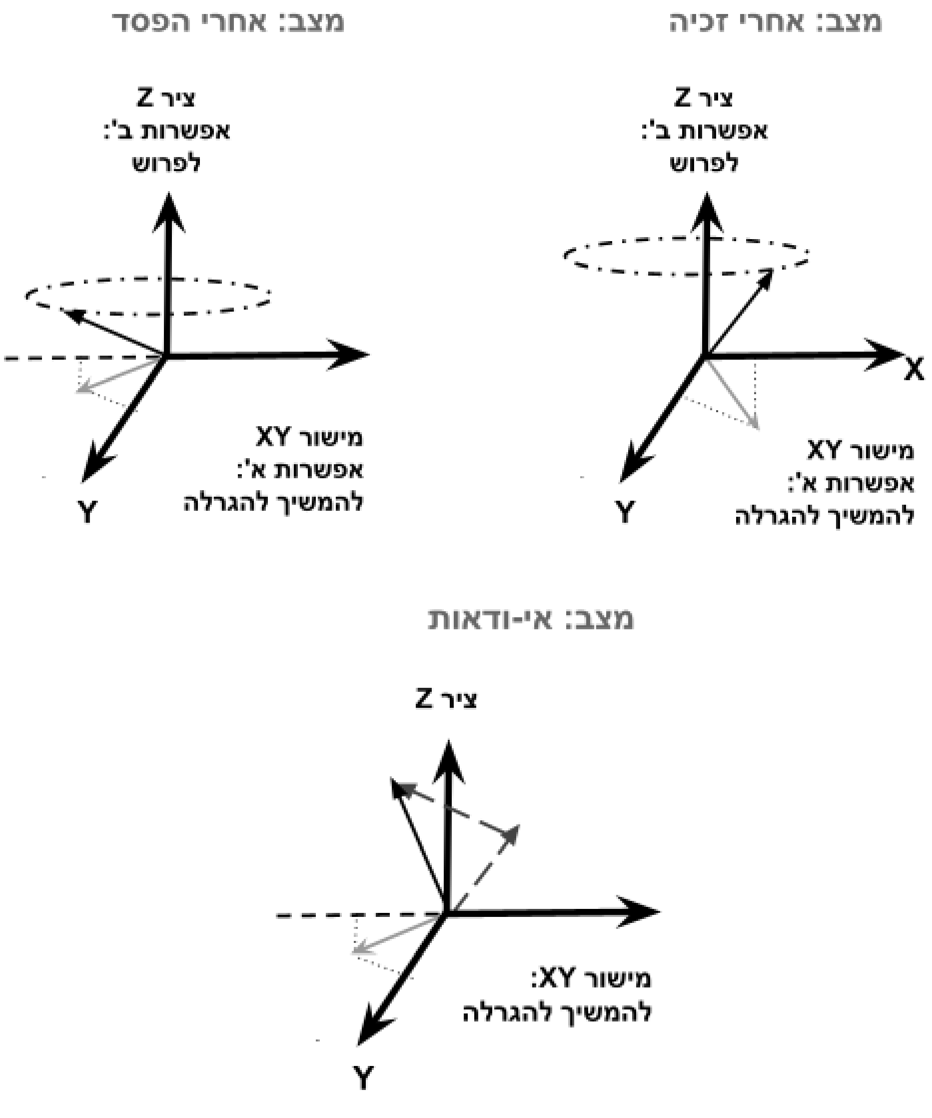
כעת, אם נבחן מצב של ספק או אי-ודאות, אז קיימים בו זמנית לפחות שני וקטורים שונים כאשר צריך לקחת בחשבון את ההסתברות של כל אחד ממצבי הספק (לדוגמא מצב של זכיה בהגרלה הראשונה ומצב של הפסד).

כפי שנסביר, במצב זה הנפש נמצאת בו זמנית בשני מצבים. על מנת לתת לזה ביטוי גאומטרי, אנו מייצגים את הנפש באמצעות וקטור אחד שהוא סכום משוקלל של שני וקטורים. אם נתייחס לניסוי ההגרלות, נקבל וקטור חדש שהוא סכום של וקטור המייצג את המצב של זכיה בהגרלה ווקטור נוסף המייצג את המצב של הפסד בהגרלה כאשר כל וקטור מוקטן בחצי מכיוון שההסתברות לזכות או להפסיד בהגרלה היא חצי.

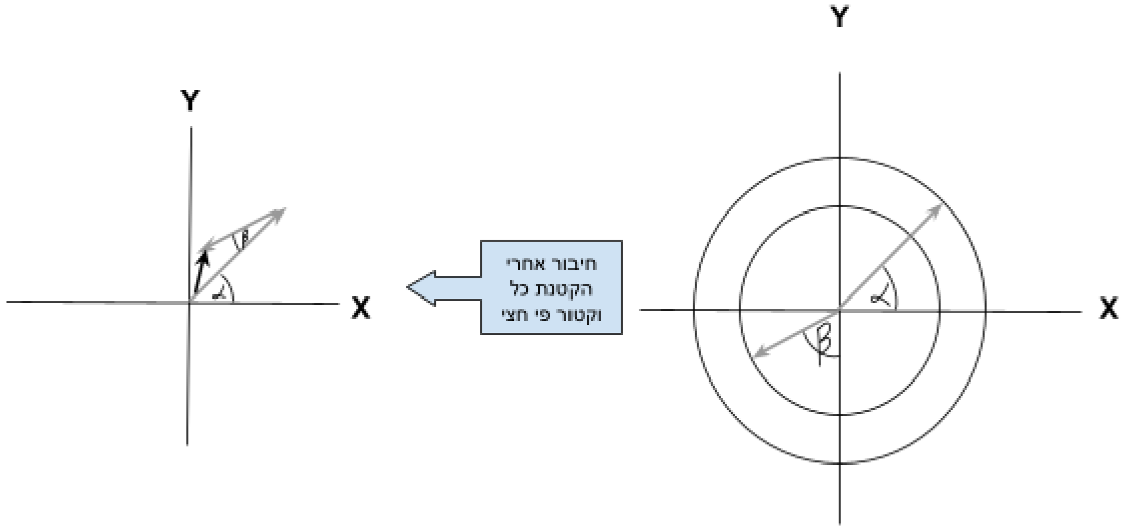




מה יוצר את ההתאבכות? העובדה ששני הוקטורים מסתובבים והחבור הוקטורי נעשה בשלשה מימדים כאשר ההפרש בין הזויות (בעקבות הסיבוב) נלקח בחשבון.



כדי לפשט את החישוב ניתן להתייחס רק להיטלים על מישור XY ולחבר אותם בהתחשב בהפרש הזויתי ביניהם:



כעת שוב נחשב רבוע אורך הוקטור החדש (על ידי חבור רבוע היטליו) כדי לקבל את ההסתברות של האפשרות במצב אי-ודאות. מכאן נקבל משוואה שדומה למשוואת ההסתברות הקוונטית, כפי שהדגמנו לעיל.

הסתברות מורכבת

נעמיק מעט בניתוח שהצגנו לעיל ומעתה נתייחס לניסוי ההגרלות. מצב של אי-ודאות מורכב למעשה מ-2 ספקות:

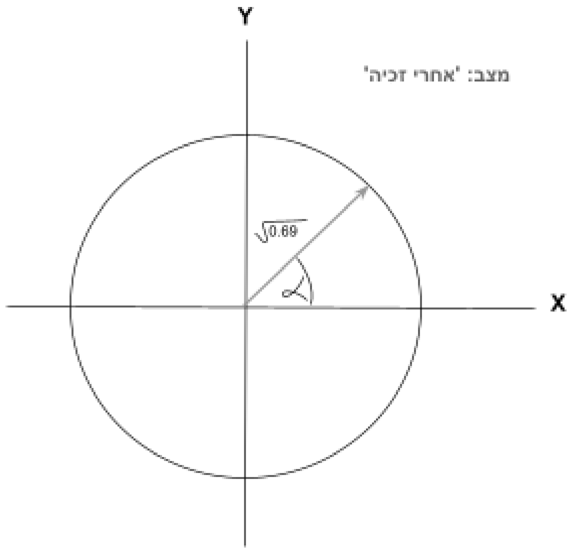
1. **מהו המצב שלי** בעקבות ההגרלה הראשונה: רווח של 200 או חוב של 100?
2. **האם אני רוצה** להמשיך להגרלה השניה או לפרוש?

חשוב לשים לב שספקות אלו שונים במהותם. הספק הראשון הוא שאלה של הסתברות רגילה. המצב בו אני נמצא הוא מציאות קיימת, ומכיון שישנן שתי אפשרויות (עם הסתברויות שוות) למצב בו אני נמצא (רווח או הפסד) לכן ספק זה יחושב לפי הסתברות רגילה. לעומת זאת, הספק השני הוא ספק בחירי. הוא לא מצב או מציאות נתונה ומוכרעת אלא מצב פוטנציאלי ולכן יש להתייחס אליו כאל הסתברות קוונטית.

אם נתייחס שוב לציור של הוקטור במרחב הדו-מימדי, ברגע שאני לוקח בחשבון את הספק הראשון, מתחייב שאורך של כל וקטור (זה שמייצג את ההכרעה במצב של זכיה וזה שמייצג את ההכרעה במצב של הפסד) יהיה חצי, מכיון שיש הסתברות של חצי לרווח והסתברות של חצי להפסד, בהגרלה הראשונה. כעת, נבצע חיבור וקטורי של שני הוקטורים (כלומר, נצמיד

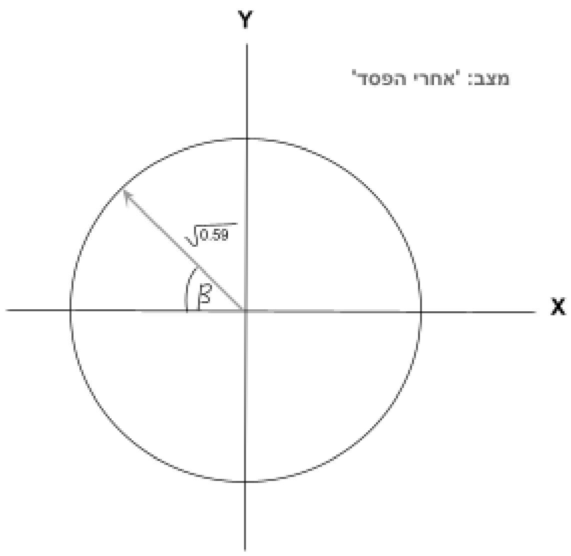
את 'ראשו' של השני ל'זנבו' של הראשון) ושוב נחשב את ההסתברות להמשיך לעוד הגרלה או לפרוש לפי ריבועי ההיטלים על הצירים השונים.

כעת נדגים את צורת החישוב בהנתן סטטיסטיקות של ניסוי ההגרלות. הוקטור המייצג את הבחירה במצב של זכיה בהגרלה הראשונה:



הסתברות שהרוויח והמשיך לעוד הגרלה: $P_1 = cos^2(\alpha) + sin^2(\alpha) = 0.69$

הוקטור שמייצג את הבחירה במצב של הפסד בהגרלה הראשונה:



הסתברות שהפסיד והמשיך לעוד הגרלה: $P_2 = cos^2(\beta) + sin^2(\beta) = 0.59$

נוכל לחשב את להמשיך לעוד הגרלה במצב של אי-ודאות לפי משפט הקוסינוסים:

$$P_{1+2} = \frac{1}{4} \cdot 0.59 + \frac{1}{4} \cdot 0.69 + \frac{1}{2} \cdot \sqrt{0.59 \cdot 0.69} \cdot cos(\alpha - \beta) = 0.36$$

בהמשך נייצג כל וקטור בתור פונקציה מרוכבת כך שאת החישוב הנ"ל נוכל לייצג באמצעות נוסחה דמוית הסתברות קוונטית, כזו:

$$P_{1+2} = \left|\frac{1}{2}\cdot \varphi_1 + \frac{1}{2}\cdot \varphi_2\right|^2 = \frac{1}{4}\cdot \varphi_1^2 + \frac{1}{4}\cdot \varphi_2^2 + \frac{1}{2}\cdot \varphi_1\varphi_2 = 0.36$$

בהמשך נסביר משוואה זו לעומק וכן נציע מספר פונקציות שפותרות מערכת זו, ומספקות תאור של התודעה והדינמיקה בנפש במצב של קבלת הכרעות באי-ידיעה.

החישוב לפי הקוגניציה הקוונטית

צורת החישוב שהצגנו לעיל שונה מהחישוב שמציעים חוקרים רבים מתחום הקוגניציה הקוונטית[14]. בהשוואה לנוסחה שהצגנו לעיל (במקרה של ההגרלות), משוואת הקוגניציה הקוונטית הבסיסית תהיה:

$$P_{1+2} = \left|\sqrt{\frac{1}{2}}\cdot \varphi_1 + \sqrt{\frac{1}{2}}\cdot \varphi_2\right|^2 = \frac{1}{2}\cdot \varphi_1^2 + \frac{1}{2}\cdot \varphi_2^2 + \varphi_1\varphi_2$$

נשים לב, שבנוסחה זו ההסתברות לכל מצב ('אחרי זכיה' או 'אחרי הפסד') מחושב בתור שורש חצי ולא בתור חצי, כמו בנוסחה שהצענו לעיל. משמעות הדבר, שההסתברות של מצבי הספק מחושבים באותו אופן כמו ההסתברויות למצבי הבחירה. כלומר, הקוגניציה הקוונטית סוברת שהסיבה לסטיה בהסתברות נובעת ממצב לא מוכרע או אי-ידיעה בנפש. באותו אופן שהאדם לא יודע אם הוא עתיד לבחור להמשיך להגרלה הבאה או לפרוש, כך הוא לא יודע האם זכה בהגרלה הראשונה או הפסיד. לכן, שני הספקות מחושבות באותו אופן ושניהם תורמות באותה צורה לסטיה שתתקבל.

כאמור, לשיטתנו הסטיה נגרמת כתוצאה של רצון של הנפש לבטא את כח הבחירה שלה ואת הרצונות הסותרים שבה. מצב הספק חושף טבע בחירי זה בנפש אך קיים הבדל מהותי בין ספק במציאות לספק שהוא בעצם יכולת בחירה. הבחירה משקפת מצב שבו הנפש שוהה בו זמנית בשתי האפשרויות (להמשיך ולפרוש), לכן ההסתברות לכל אפשרות נפרשת על מימד כאשר המשמעות היא שבחישוב סכום ההסתברויות נתחשב בשורש ההסתברות. לעומת זאת, מצב של זכיה סותר מצב של הפסד ולכן ההסתברויות של מצבים אלו נפרשים על מימד אחד וכאשר ניקח אותם בחשבון בחישוב סכום ההסתברויות, נתחשב בהסתברות עצמה ולא בשורש שלה.

---

[14] ראה ??

נספח ג' - בחירה כטרנספורמציה על מרחב

דינמיקה מחזורית - סיבוב של המרחב

לבדוק מה נצרך

כפי שראינו בפרקים הקודמים, התענוג והרצון יושבים על מימדים שונים בנפש. אם נרצה לייצג 'מקום-נפשי' מסוים בתוך המרחב הנפשי שמימדים אלו פורשים, נוכל לעשות זאת באמצעות וקטור:

$$\varphi(t) = \begin{bmatrix} x(t) \\ y(t) \end{bmatrix}$$

נכנה וקטור זה - בדומה למינוח בפיזיקה הקוונטית - 'וקטור המצב של הנפש'. לאור כל מה שהסברנו בפרק הקודם, 'וקטור המצב של הנפש' יקיים:

$$\frac{d}{dt}\varphi(t) = \frac{d}{dt}\begin{bmatrix} x(t) \\ y(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y(t) \\ -x(t) \end{bmatrix}$$

כפל מטריצות פשוט מראה שפעולת הגזירה זהה להכפלה של הוקטור במטריצת סיבוב של 90 מעלות עם כיוון השעון:

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} x(t) \\ y(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y(t) \\ -x(t) \end{bmatrix}$$

לכן נוכל גם לכתוב:

$$\frac{d}{dt}\begin{bmatrix} x(t) \\ y(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} x(t) \\ y(t) \end{bmatrix}$$

ומכאן ניכר שוקטור הנפש מתאר תנועה סיבובית סביב נקודת המרכז עם כיוון השעון, בדומה לשרטוט של מעגל המחזוריות בנפש שהצגנו בתחלת הפרק.

פתרון של משוואה דיפרנציאלית זו היא:

$$\varphi(t) = \begin{bmatrix} x(t) \\ y(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x(0) \\ y(0) \end{bmatrix} \cdot e^{\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix} t}$$

שהרי אז מתקיימת משוואה ##:

$$\frac{d}{dt}\begin{bmatrix} x(t) \\ y(t) \end{bmatrix} = \frac{d}{dt}\left(\begin{bmatrix} x(0) \\ y(0) \end{bmatrix} \cdot e^{\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix} t}\right) = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} x(0) \\ y(0) \end{bmatrix} \cdot e^{\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix} t} = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} x(t) \\ y(t) \end{bmatrix}$$

הפתרון הכללי של משוואה ## הוא:

$$\varphi(t) = \begin{bmatrix} cos(t) & sin(t) \\ -sin(t) & cos(t) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(t) \\ y(t) \end{bmatrix}$$

ובהנתן תנאי ההתחלה:

$$x(t = 0) = A;\ y(t = 0) = 0$$

נקבל את הפתרון הפרטי:

$$\varphi(t) = \begin{bmatrix} cos(t) & sin(t) \\ -sin(t) & cos(t) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(0)=A \\ y(0)=0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Acos(t) \\ Asin(t) \end{bmatrix}$$

כלומר:

$$\varphi(t) = \begin{bmatrix} Acos(t) \\ -Asin(t) \end{bmatrix}$$

אם כן, קבלנו הגדרה וקטורית עבור הנפש, מותאמת ליחסים בין התענוג והרצון בנפש. ניסוח וקטור המצב של הנפש הראה לנו בברור שהיחסים שפועלים בין התענוג והרצון בנפש יוצרים סיבוב של המרחב הנפשי. חשוב לשים לב לנקודה זו כי היא תאפשר לנו הבנה מחודשת לגבי ההגיון שיש במשוואת ההסתברות הקוונטית.

דינמיקה היפרבולית - עיוות של המרחב

להעביר את כל זה לנספח וגם את הפרק המקביל בטריגו' וכן את ההמשך כאן בקשר למערכות יחוס ועיוות המרחב וכן להעביר לנספח אחר את הפרק של המימדים

משיקולים אנלוגים לאלו שהשתמשנו בפרק על ההגדרה הוקטורית של הנפש, ניתן להראות שבמקרה ההיפרבולי, וקטור הנפש יתקבל, לא מסבוב של המרחב (כמו במקרה המרוכב), אלא כתוצאה של עיוות הפרבולי של המרחב.

ראינו שהיחסים הבאים מתקיימים:

$$\frac{d}{dt}\varphi(t) = \frac{d}{dt}\begin{bmatrix} x(t) \\ y(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x'(t) \\ y'(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y(t) \\ x(t) \end{bmatrix}$$

כפל מטריצות פשוט מראה שפעולת הגזירה זהה להכפלה של הוקטור במטריצת ההשתקפות סביב האלכסון שעולה משמאל לימין:

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(t) \\ y(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y(t) \\ x(t) \end{bmatrix}$$

לכן נוכל גם לכתוב:

$$\frac{d}{dt}\begin{bmatrix} x(t) \\ y(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} x(t) \\ y(t) \end{bmatrix}$$

פתרון של משוואה דיפרנציאלית זו היא:

$$\varphi(t) = \begin{bmatrix} x(t) \\ y(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x(0) \\ y(0) \end{bmatrix} \cdot e^{\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} t}$$

הפתרון הכללי שלה הוא:

$$\varphi(t) = \begin{bmatrix} cosh(t) & sinh(t) \\ sinh(t) & cosh(t) \end{bmatrix}\begin{bmatrix} x(t) \\ y(t) \end{bmatrix}$$

ובהנתן תנאי ההתחלה:

$$x(t = 0) = A;\ y(t = 0) = 0$$

נקבל את הפתרון הפרטי:

$$\varphi(t) = \begin{bmatrix} cosh(t) & sinh(t) \\ sinh(t) & cosh(t) \end{bmatrix}\begin{bmatrix} x(0)=A \\ y(0)=0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Acosh(t) \\ Asinh(t) \end{bmatrix}$$

כלומר:

$$\varphi(t) = \begin{bmatrix} Acosh(t) \\ Asinh(t) \end{bmatrix}$$

נעיר שלמעשה, סיבוב זה מייצג את כל הפתרונות של המערכת הדינמית שנולדת משיתוף פעולה בין שניים. אנו מסתכלים על הדינמיקה המשתקפת בתוך הנפש של היחיד עבור נקודת התחלה מסוימת ולכן נוכל לזהות את $\varphi(t)$ כמייצג את המצב הנפשי של שחקן במשחק שיתוף פעולה.

משוואת גל מרוכב והפרבולי

בפרק ?? הגדרנו את פונקצית המצב של הנפש כך:

$$\varphi(t) = Acos(t) + i\,Asin(t)$$

כאמור, פונקציה זו מחזירה את כל המספרים המרוכבים היושבים על מעגל ברדיוס A סביב למרכז, וזאת בהתאם להגדרת יחסי התענוג והרצון בנפש.

לפי הזהות של אוילר:

$$e^{it} = cos(t) + i\,sin(t)$$

נקבל הצגה פולרית של הנפש:

$$\varphi(t) = Ae^{it}$$

ניסוח זה מקביל לפונקצית הגל המרוכבת שבה נעשה שימוש במכניקת הקוונטים. נעיר שההצגה הפולרית מקבילה למעשה, להצגה המטריצית בה ייצגנו את וקטור המצב של הנפש (בפרט לפי מושגי האלגברה הקו-קווטרנית בה נשתמש גם בהמשך להגדיר גלים מסוגים שונים):

$$\varphi(t) = \begin{bmatrix} x(0)=A \\ y(0)=0 \end{bmatrix} \cdot e^{\begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} t}$$

מכיון, שכפי שהראנו, המצבים בנפש הם מחזוריים, לכן ההצגה הפולרית היא הצגה נוחה ומתאימה לייצג בה את הנפש. כעת, אם נעזר במושגי האלגברה הקו-קווטורנית, נוכל להגדיר גל-היפרבולי שמתאר את הדינמיקה הנפשית לעיל והרבוע שלו מתאר את החישוב ההסתברותי לשיתוף פעולה. משוואת הגל תוגדר כדלהלן:

$$\varphi(t) = Ae^{jt}$$

נשים לב, שבאופן אנלוגי לזהות של אוילר מתקיים:

$$e^{jt} = cosh(t) + j\, sinh(t)$$

ולכן הרבוע שלו מקיים:

$$\left|e^{jt}\right|^2 = e^{jt} \cdot e^{-jt} = (cosh(t) + j\, sinh(t))(cosh(t) - j\, sinh(t))$$

ולפי ההגדרה האלגברית של הקו-קוורטונים:

$$j \cdot j = 1$$

מתקיים:

$$(cosh(t) + j\, sinh(t))(cosh(t) - j\, sinh(t)) = cosh^2(t) - sinh^2(t) = 1$$

ולכן:

$$|\varphi(t)|^2 = \left|Ae^{jt}\right|^2 = A^2$$

קו-קרטוניום וסימטריה של רבוע

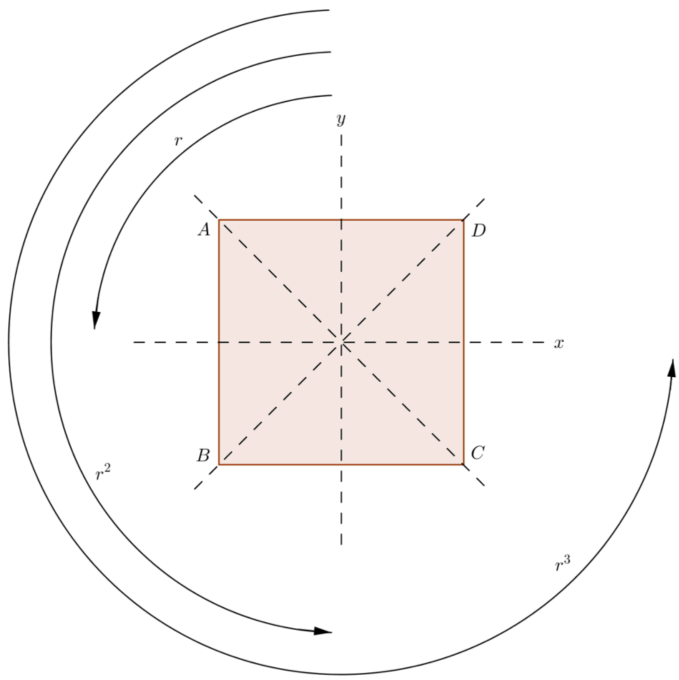
על מנת להבין טוב יותר את היחס בין העיוות ההפרבולי לבין הסיבוב המעגלי נוכל להעזר באלגברה של הקו-קרטוניום ובחבורת הסימטריה של הרבוע. עד כה, ראינו שני סוגים של גלים אותם ניתן להציג באופנים שונים. כדי לנסח את משוואת הגל המרוכבת וההפרבולית השתמשנו ביחידה המדומה i וכן ביחידה ההפרבולית j. שני יחידות אלו, יחד עם המספר 1 ועם היחידה k (לגביה לא נרחיב כעת), יוצרות מבנה אלגברי המכונה קו-קרטוניום. אם נשווה את ההצגה הקו-קרטונית להצגה המטריצית אותה גם ראינו בעבר, נוכל לזהות כי הרכיבים האלגברים מקבילים למעשה למטריצות של פעולות על המרחב (כפי שקצת הסברנו בפרקים הקודמים):

$$e^{it} = e^{\begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} t} \qquad e^{jt} = e^{\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} t}$$

$$i = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \qquad j = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$k = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

מבחינה גאומטרית, מטריצות אלו הן פעולות על המרחב והן שייכות לחבורת הסימטריה של הרבוע. הפעולה i פועלת סיבוב של 90 מעלות על הרבוע בעוד j פועלת סיבוב או שיקוף של הרבוע סביב האלכסון שעולה משמאל לימין.



מערכות יחוס בתנועה מעגלית

כדי להבין את הדינמיקה ההפרבולית בנפש, נחזור רגע להגדרות של התנועה המחזורית בנפש, וננסה להבין אותה במובן קצת מחודש. נתבונן במצב של אפשרות אחת בנפש, כמו האם לקנות כרטיס לחופשה, בניסוי של טברסקי ושפיר. האם במצב זה, קיימת תנועה מחזורית בנפש? אפשר לומר שכן, אבל אפשר גם לומר שלא. כלומר, הנפש בתור מערכת היחוס של עצמה לא נעה, אלא כל ההתרחשות קוראת בתוכה. לעומת זאת, אם האדם ינסה למדוד את הנפש בתור מערכת יחוס חיצונית הוא יוכל לזהות תנועה מחזורית, כפי שהארכנו לתאר. כל זמן שיש רק אפשרות אחת ההסתברות להכריע כמו אפשרות זו שווה לכמה רצון יש בנפש לאותה אפשרות. כלומר, רק שאלה אחת משפיעה על ההסתברות: כמה אני רוצה את מה שהאפשרות מציעה לי. לכן, למעשה מספיק ציר אחד או גודל אחד לתאר את ההסתברות והוא הגודל שהגדרנו בתור הרדיוס ברבוע. כלומר במערכת יחוס אחת יש ציר אחד - ציר הרצון, עליו נמדד הרדיוס וממנו נגזרת ההסתברות.

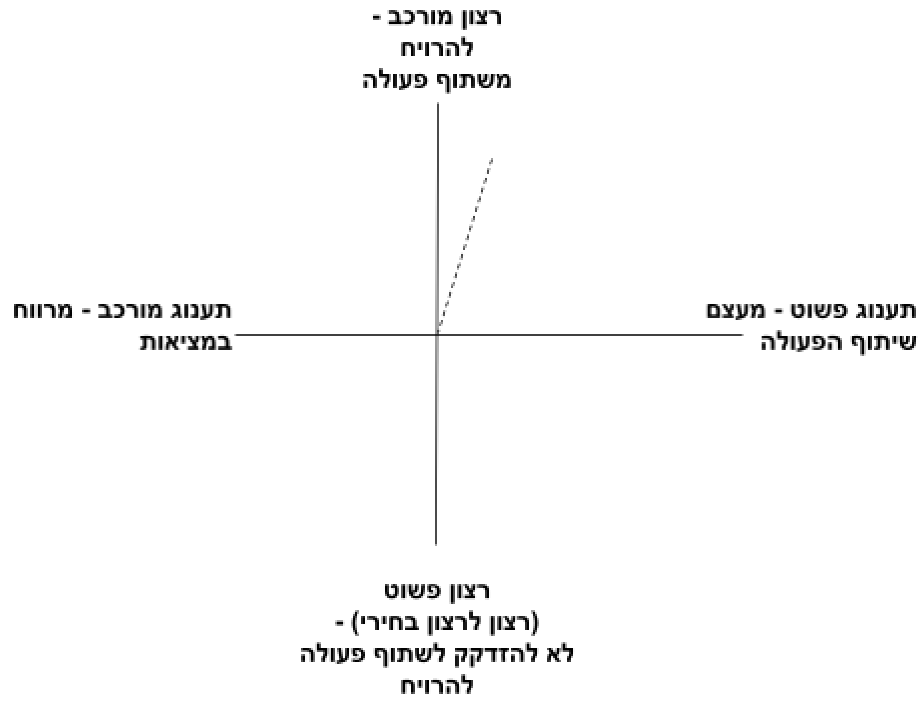
לעומת זאת, כאשר יש שתי אפשרויות (ומעלה) יש לנו מערכת יחוס נוספת ואז התנועה המחזורית של הנפש היא 'אמיתית' יחסית לאחת המערכות ולכן לא רק גודל הרצון יכריע בחישוב ההסתברות אלא גם היחס בין שני המערכות. אם הגודל הבסיסי בהסתברות הוא הרדיוס ש'יושב' על ציר הרצון, היחס בין מערכות היחוס נמדד בזוית שבין שני צירי הרצון. זוית זו למעשה מגדירה לאן הרצון נוטה ביחס לתענוג בנפש. כאשר ישנה רק אפשרות אחת - כמו במצב ידיעה - אנו נדרשים לענות רק על שאלה אחת ('כמה האדם רוצה בדבר?'). לעומת זאת, בהנתן שתי אפשרויות - כמו במצב של אי-ידיעה - מתעוררת שאלה נוספת: כמה ממה שהוא רוצה את הדבר נובע מכך שדווקא אותו דבר יענג אותו ('תענוג מורכב') וכמה הרצון נובע מכך שהוא בעצם רוצה להתענג מעצמו ('תענוג פשוט') והדבר מעורר בתוכו תענוג מעצמו.

אם נחזור למערכת הצירים, נוכל להתייחס לאפשרות אחת כמערכת יחוס במנוחה בה הרדיוס ניצב על ציר הרצון ואילו במערכת השניה הרדיוס יטה לצד מסוים של ציר התענוג וככה גודל הרצון יתפס במערכת הנחה כשונה מגודלו האמיתי. כעת, כשנבוא לחשב את סך הרצון ולגזור ממנו הסתברות על ידי חבור רבוע סכום הרצונות ורבוע סכום התענוג, נקבל

גורם התאבכות. הסיבה כאמור, היא שהנפש מנסה לחשב את שני האפשרויות יחד, כלומר את שני הרדיוסים ממערכת יחוס אחת ולא מכל אחת בפני עצמה.

מערכות יחוס בתנועה הפרבולית

כעת נתבונן במקרה של משחק שיתוף פעולה. כמו במקרה של הכרטיסים, גם כאן נוכל לומר שכאשר ישנה רק אפשרות אחת, קיימת מערכת יחוס אחת, כלומר כל ההתרחשות קוראת בתוך הנפש וגם כאן יש רק שאלה אחת שתקבע את ההסתברות: כמה אני רוצה את הרווח משתוף הפעולה? לכן, גם כאן נוכל להגדיר 'רדיוס' שיושב על ציר אחד - ציר הרצון, כאשר האורך שלו ברבוע יתן את ההסתברות. אמנם, ברגע שקיימת אפשרות נוספת ונקבל מערכת יחוס נוספת, גם כאן תצוץ שאלה חדשה שתגדיר את היחס בין שני מערכות היחוס: כמה מהרצון להרויח משיתוף הפעולה הוא בשביל התענוג שיתקבל מהרווח וכמה הוא בשביל התענוג מעצם שיתוף הפעולה? בניסוח קצת יותר עמוק: האם שתוף הפעולה נועד להשיג תענוג מורכב מרווח חיצוני או תענוג פשוט של הנפש מעצמה כאשר היא תכלול בתוכה את התענוג הפשוט של נפש שמתאחדת איתה (שהרי זו מהות התענוג משתוף הפעולה, שהתענוג של האחד מהשני ישקף את התענוג של השני מהראשון ובכך הם מתאחדים)?

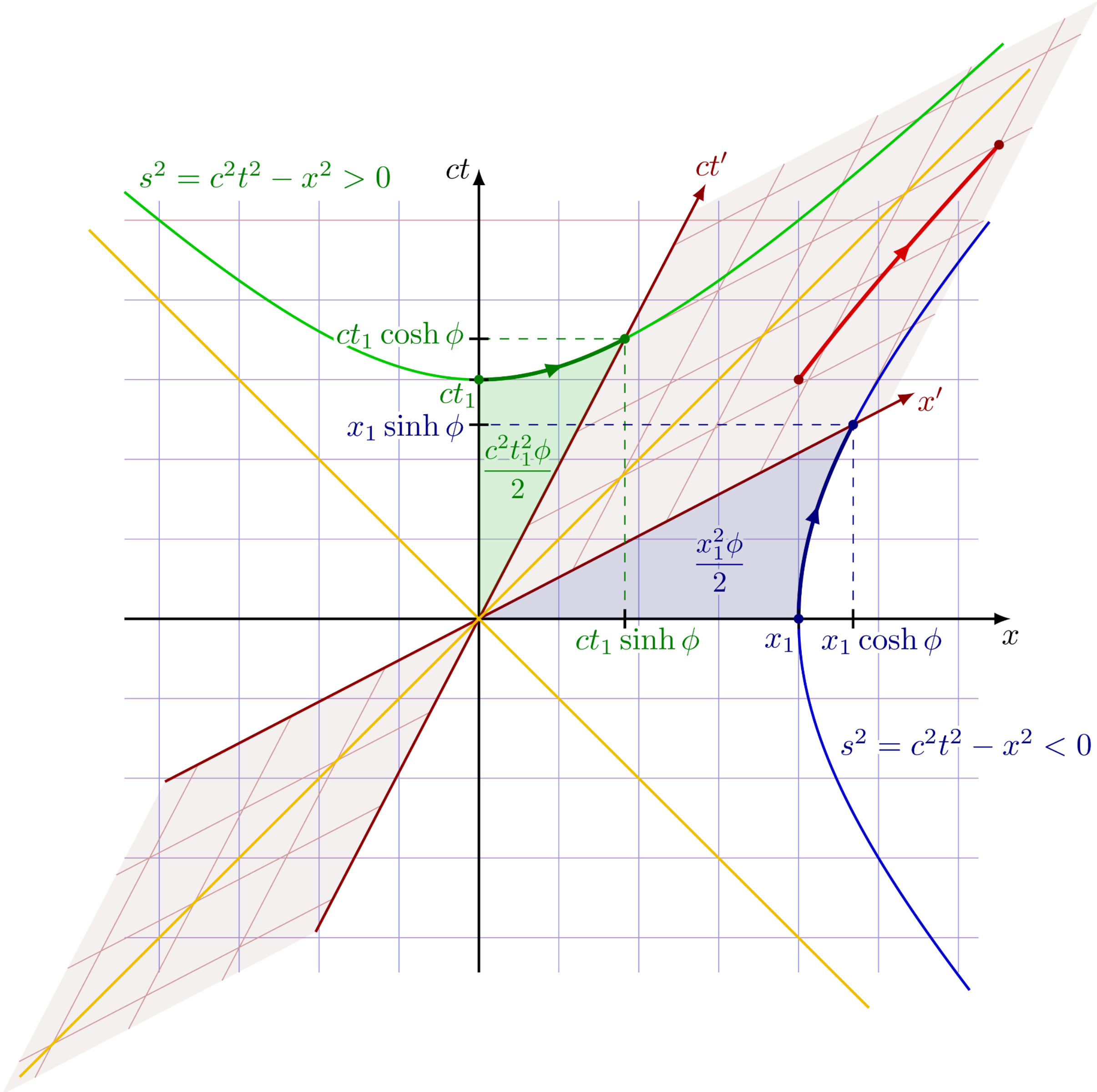


גם כאן, שאלה זו תגדיר את הזוית שבין צירי הרצון שבשתי מערכות היחוס[15]. אמנם, אם במקרה של הכרטיסים הזוית היתה זוית מעגלית (רגילה), במקרה של משחקי שתוף פעולה, הזוית היא זוית הפרבולית. מדוע? מכיון שאם במקרה של הכרטיסים, יחסי התענוג והרצון בנפש מיוצגים על ידי דינמיקה סיבובית אותה ניתן למדוד כאשר יש לנו שתי מערכות יחוס (אחרת הנפש תתיחס אל השינויים בתענוג ורצון כהתרחשות פנימית שלה, כאילו היא מסובבת משהו ולא היא המסתובבת) הרי שבמקרה של שיתוף פעולה יחסי התענוג והרצון בנפש מיוצגים על ידי דינמיקה הפרבולית.

מה שמגדיר את הדינמיקה כהפרבולית היא קיומו של שחקן חיצוני שתורם ונתרם משיתוף הפעולה. שיתוף פעולה במהותו הוא הדדי ולכן הרצון להרוויח משתוף הפעולה תלוי בתענוג שהשני מקבל משיתוף הפעולה. מכיון שהתניה זו הדדית, יש כאן מערכת שמתדלקת (או מדכאת) את עצמה ומתקבלת דינמיקה הפרבולית. אם כן, במקום שכל מערכת הצירים תסתובב במעגל יחסית למערכת יחוס נחה, כמו במקרה של הכרטיסים, נקבל במקרה של שתוף פעולה, שכל מערכת הצירים נמתחת ונמעכת לאורך הפרבולות (יחסית למערכת הנחה). הזוית שבין צירי הרצון של שני המערכות היא הזוית ההפרבולית שמגדירה את היחס בין המערכות. ככל שהרצון להרוויח משתוף הפעולה יהיה יותר מצד התענוג שבשתוף פעולה ככה הזוית תשאף לארבעים וחמש מעלות. לעומת זאת, ככל שהרצון יהיה מצד התענוג מהרווח ככה המערכות יתלכדו בתשעים מעלות. כלומר, המערכת תקבל עיוות של מיעוך-מתיחה של הצירים יחסית לצירים ישרים (רגילים).

---

[15] מבלי להרחיב בענין, נציין כי עיוות הצירים לפי האזורים והכיוונים השונים של ההפרבולות מתאר מצבים נפשיים במערכות יחסים שונות. לפי האופן בו הגדרנו את צירי הנפש, נוכל להציע תאור כללי של ארבעה מצבים לפי סדר הרבעים השונים: אהבה, ניצול, שנאה והתמסרות.



כאשר האדם נדרש להכריע בהנתן שתי מערכות יחוס, הנפש תנסה לתפוס את שתי המערכות יחד, כלומר מנקודת מבט אחת של מערכת יחוס אחת. מכיון שהמערכת המעוותת משתקפת על המערכת הנחה באופן 'מעוות' נקבל סטיה מסכום ההסתברויות. ליתר דיוק וכפי שנראה בהמשך, המערכת שמניחה שהשחקן השני משתף פעולה תשתקף על המערכת היחוס הנחה (שמניחה שהשחקן השני לא משתף פעולה) בפורפוציות התאומות פונקציות הפרבולויות. לכן, כאשר הנפש תחבר את הרצונות של שתי האפשרויות, הרצון של המערכת המעוותת יהיה גדול יותר מאיך שהוא נתפס בתוך המערכת המעוותת עצמה. אמנם, כעת

כמו במקרה של הכרטיסים נצטרך להתחשב בתרומה של הגודל על ציר התענוג שמשתקף מהמערכת המעוותת על המערכת הנחה.
ברם, עלינו לשים לב שבנגוד למקרה המעגלי בו הוספנו את רבוע התענוג לרבוע הרצונות, כאן עלינו לחסר את רבוע התענוג כדי לאזן את המתיחה של הרצון. מבלי להכנס להסבר המתמטי של הענין, אינטואיטיבית נוכל לומר שבמקרה המעגלי, ההטיה של ציר הרצון על ציר התענוג גרמה לכל חלק יחסי (התענוג והרצון) לקטון כי הגודל התפשט על שני מימדים ולכן חברנו את חלקי התענוג והרצון כדי להשלים את האורך המקורי. לעומת זאת, במקרה ההפרבולי, כאשר העיוות של המרחב גורם לחלק הרצון דווקא לגדול, נצטרך לחסר את חלק התענוג כדי למדוד את הגודל המקורי. במלים נפשיות, מכיון שהשחקן רוצה שהשותפות תהיה רווחית וככה היא גם תרגיש לו ממשית, לכן הוא מבין שבתוך הרצון שנמתח יש תענוג פשוט משיתוף הפעולה אותו צריך לקזז כאשר באים למדוד את הרצון ולקבל הכרעה. בגלל האופן בו נוצר העיוות במרחב (כפי שנפרט בהמשך בניתוח המתמטי) אותה תוספת של תענוג ברצון משתקף גם על ציר התענוג.

מרחב מקום זמן

בתור משל לעיוות המרחב שתארנו לעיל, נעזר בתרשים מקום-זמן של מינקובסקי כדי לתאר שני מערכות יחוס שנעות במהיריות יחסותיות אחת ביחס לשניה. ניתן להראות שככל שהמהירות של מערכת היחוס הנעה גדלה, כך הזוית ההפרבולית של עיוות המרחב גדל ושואף לזוית של 45 מעלות (זוית העיוות של המרחב של אור). לפי משל זה, כל אפשרות במשחק שיתוף פעולה (האפשרות שהשחקן השני משתף פעולה והאפשרות שהוא לא) היא מערכת יחוס. המערכת הנחה תייצג את האפשרות שהשחקן השני לא משתף פעולה ואילו המערכת שנעה יחסית אליה, תייצג את האפשרות שהשחקן השני משתף פעולה. כל מערכת יחוס תמדוד בתוך עצמה זמנים ומקומות ותוכל גם להשוות או לחבר זמנים ומקומות (כל אחד בנפרד) בתוך עצמה.
אם נחזור לנפש, הרצון לשתוף פעולה ימדד כגודל על ציר הזמן, וכאמור אם נתייחס לכל מערכת יחוס בנפרד אין משמעות למהירות התנועה של המערכת הנעה וכל מערכת תמדוד את עצמה כאילו היא נחה. אמנם, כאשר ננסה להתיחס לשתי המדידות כאילו הן נעשות במערכת אחת נקבל סטיה ביחידת המקום זמן. כלומר, כאשר צופה שנמצא במערכת היחוס שנחה ינסה למדוד את הגודל על ציר הזמן של המערכת שנעה הוא ימדוד ערך גדול מזה

שנמדד בתוך המערכת שנעה, אבל, גם המקום שהוא ימדוד יהיה גדול יותר. כאשר הצופה ינסה לחבר מדידות אלו למדת הזמן שהוא מדד במנוחה ואז לחשב את יחידת המקום זמן הוא יקבל סטיה מסכום המדידות שנמדדו בשתי המערכות בנפרד. נעיר שיחידת המקום-זמן, מחושבת בתור ההפרש בין רבוע יחידות הזמן לרבוע יחידות המקום. חישוב זה דומה לחישוב שהצגנו לעיל, כאשר הנפש מחברת את מערכת של אי-שיתוף פעולה עם זו של שיתוף פעולה וכדי להתחשב במתיחה של ציר הרצון היא מחסרת את ציר התענוג.
נעיר עוד שהשיא של תענוג משיתוף פעולה, דומה במשל למהירות האור. במהירות האור, מערכת הצירים נמעכת עד כדי מצב שציר המקום והזמן מתאחדים ויחידת המקום זמן שווה תמיד אפס. בדומה לכך, במצב שהרצון להרויח משתוף פעולה הוא רק בשביל התענוג משתוף הפעולה בלי שום תענוג מהרווח, אז התענוג והרצון מתאחדים והרצון להרוויח משתוף הפעולה נעשה אחד עם התענוג מעצם שיתוף הפעולה.

משל למצב אי-ידיעה

על מנת להמחיש את המתיחה ההיפרבולית, נעזר בנסוי מחשבתי מתחום היחסות הפרטית. נדמה כי אנו יושבים ברכב שמסוגל להגיע למהירות יחסותית ואנו מעונינים לחשב את מדת המקום-זמן (האינווריאנט) שבין שני ארועים שונים לאורך תקופת שהותנו ברכב. נציין שלושה ארועים: כניסה לרכב, האצה מידית למהירות יחסותית ועצירה מיידית של הרכב.
[&&& ציור של קו העולם של הרכב במרחב המקום-זמן של מינקובסקי &&&]
לצידנו (מחוץ לרכב) יעמוד צופה נוסף שגם ימדוד את טווחי המקום-זמן שבין הארועים. נתחיל למדוד את הזמן והמקום מרגע הכניסה לרכב עד לרגע ההאצה המידית. בטווח זה הרכב לא זז, לכן מדת המקום-זמן יחושב באופן זהה עבורנו ועבור הצופה שעומד לצד הרכב, על ידי רבוע הזמן שעבר:

$$\Delta s'^2 = \Delta s^2 = (c\Delta t)^2$$

כעת נתחיל למדוד את הטווח השני שבין הארוע של לחיצה על כפתור התאוצה של הרכב ללחיצה על כפתור לעצירה מידית של הרכב. מבחינת נהג הרכב, מכיון שהוא נע עם הרכב, אין הבדל בין המצב בו הרכב נח לבין נסיעה במהירות יחסותית. לכן, הנהג שוב ימדוד את מדת המקום-זמן שבין הארועים בתור רבוע הזמן שהוא מדד:

$$\Delta s^2 = (c\Delta t)^2$$

לעומת זאת, בטווח המדובר, מבחינת הצופה שעומד לצד הרכב, לרכב יש מהירות יחסותית, ולכן במערכת היחוס שלו, שני הארועים ימדדו לא רק בזמנים שונים אלא גם במקומות שונים. יתרה מזו, מכיון שהמהירות שהרכב נע היא יחסותית, הצופה שעומד במקום ימדוד טווח זמן שונה מזה שמדד הנהג. הפרשי הזמן והמקום שימדוד הצופה הם:

$$\Delta x' = c\Delta t \cdot sinh\phi \,;\; c\Delta t' = c\Delta t \cdot cosh\phi;$$

כפי שהראה מינקובסקי, יחידת המקום-זמן היא בלתי תלויה במערכת היחוס (אינווריאנטית) ולכן גם הצופה ימדוד מדת מקום-זמן זהה לנהג:

$$\Delta s'^2 = (c\Delta t')^2 - (\Delta x')^2 = (c\Delta t \cdot cosh\phi)^2 - (c\Delta t \cdot sinh\phi)^2 = (c\Delta t)^2 = \Delta s^2$$

אם נחזור לנמשל הנפשי, מדידות אלו מתארות את ההסתברות להכריע לשתף פעולה, במצבי הידיעה. מצב בו השחקן השני לא משתף פעולה דומה למצב בו הרכב אינו נוסע, ואילו המצב שבו הוא כן משתף פעולה דומה למצב בו הרכב נוסע. כאשר הרכב נוסע, הנהג לא מרגיש בכך, ולכן במצב ידיעה הדינמיקה ההפרבולית של שתוף פעולה לא משפיעה על ההכרעות האנושיות. אכן, בתור צופים מן הצד, נוכל לזהות אצל האדם השפעות של דינמיקה זו. כאמור, הרצון לשתף פעולה כמו גם התענוג מעצם שיתוף הפעולה יגדלו בצורה הפרבולית (כפי שקורה עם המקום והזמן), אך ההכרעה למעשה לא תשתנה (כמו האינווריאנט).

כדי לתאר את מצב אי-הידיעה, בו השחקן לא יודע האם השחקן השני משתף פעולה או לא (ולכן עליו לקחת את שתי האפשרויות בחשבון), נתייחס לכל קו העולם של הרכב ונחשב את מדת המקום-זמן שמכניסת הנהג לרכב עד לעצירה שלו:

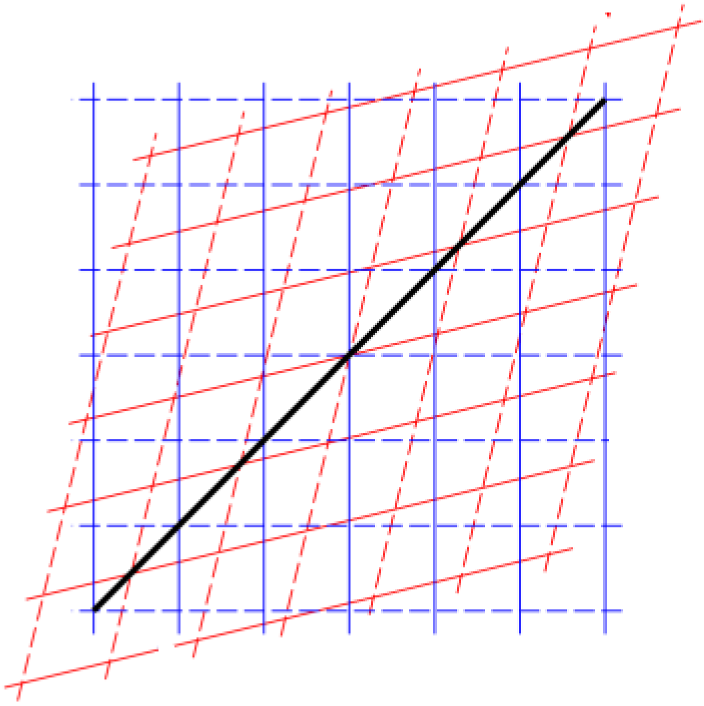
$$\Delta s^2 = (c\Delta t_1 + c\Delta t_2 cosh\phi)^2 - (c\Delta t_2 sinh\phi)^2 =$$

$$= (c\Delta t_1)^2 + (c\Delta t_2)^2 + 2c^2\Delta t_1 \Delta t_2 cosh\phi$$

אם כן, ההסתברות של שתוף פעולה באי-ידיעה היא ממוצע (או חלוקה יחסית) של מדת המקום-זמן שבין הארועים, כניסה לרכב ועצירת הרכב, מצד הצופה שמחוץ לרכב. מדה זו, כוללת את כל קו העולם של הרכב (כלומר, את שני מצבי הידיעה) כאחד, וישקף את ה"התאבכות ההפרבולית" שקוראת באי-ידיעה[16].

[16] בהשוואה למשל של ההתמד המכני, מדות המקום-זמן שנמדדות בשני שלבים נפרדים (בין שלושת הארועים) מקבילים להתמד של שתי מסות המסתובבת בלי תלות אחת בשניה (כל אחת עם אורך רדיוס של מוט הסיבוב שלה). לעומת זאת, חיבור המוטות והמסות בהתחשב בזוית שבין מישורי הסיבוב (כפי שתארנו לעיל) מקביל למדת המקום-זמן שבין שני ארועי הקצה של כניסה לרכב ועצירה של הרכב, שכוללת בתוכה זוית הפרבולית של תנוחת מערכת היחוס של הרכב בתנועה לעומת הרכב במנוחה.

כדי להבין איפה נמצאת הבחירה במשל, נזכר בהגדרת הבחירה במקרה המעגלי. כפי שהסברנו בפרק על הצירים בנפש, הבחירה נצבת לתענוג ולרצון בנפש, ומהווה את ציר הסיבוב בנפש. במקרה המעגלי, השתמשנו במושג התנע הזויתי כדי להצביע על הכיוון של 'וקטור הבחירה'. כלומר, אם נחזור לדבר על המקרה המעגלי במושגים של מערכות יחוס שאחת הסתובבה סביב המרכז יחסית לשניה, אז ציר הסיבוב של המערכת שמאונך למישור התענוג והרצון הוא ציר הבחירה. בדומה, נוכל להגדיר את ציר הבחירה במערכות היחוס הנעה במהירות יחסותית בתור האלכסון של מהירות האור. הסיבה לכך, היא שניתן לראות את העיוות היחסותי של המרחב-זמן בתור סיבוב של מישור המקום-זמן סביב ציר האלכסון של האור. דבר זה תואם את הגדרת העיוות ההפרבולי לפעולת הסיבוב של הרבוע סביב האלכסון, כפי שהסברנו לעיל.



לפי תאור זה, ניתן לראות את מצב של שני אפשרויות כאילו הצופה נמצא גם במערכת יחוס נחה וגם במערכת יחוס בה המרחב משתקף\מסתובב סביב האלכסון שהוא קו העולם של האור. אם נטיל את צירי המקום והזמן של המישור המסתובב על המישור הנח, ככל שהסיבוב יתקרב למצב מאונך, ככה היטלי הצירים יתקרבו לאלכסון האור משני צידיו, בהתאם לעיוות ההפרבולי.

כעת נוכל להבין טוב יותר איך הנפש 'מכילה' את כל המרחב של מערכת היחוס בתוכה (ולא רק נקודה או וקטור אחד). כמו שהסברנו במקרה של התנועה המעגלית, הנפש היא כמו פונקצית הגל שמגדירה תנועה מעגלית ובכך בעצם תופסת את כל המצבים של הגל במקביל. הנפש נושאת למעשה את מערכות היחוס בתוכה, כלומר היא מימד נוסף על תענוג והרצון שבה. בהקשר של מערכות יחוס בתנועה מעגלית, ראינו שהבחירה היא הציר המרכזי של הנפש שנושא את התענוג והרצון ושיחסית לבחירה, כל מצבי התענוג והרצון קיימים במקביל. כעת נוכל להבין שגם בתנועה הפרבולית, כל המצבים המתוארים בתור עיוותים של המרחב, קיימים במקביל בתוך הנפש. כאמור, בתנועה הפרבולית קיים ציר סיבוב של בחירה בנפש שנושא את התענוג והרצון בנפש. ציר זה הוא האלכסון שלאורכו מתפתחת ההפרבולה ומקביל למהירות האור במרחב המקום-זמן (אכן יחסית למהירות האור המקום והזמן מתאיינים). לעיל ראינו שניתן לדמות את העיוות ההפרבולי, לסיבוב המישור סביב אלכסון האור, ואכן על ידי סיבוב אינסופי של המישור נקבל עיוות מחזורי של המרחב ממצב 'ישר' להתאיינות לאורך האלכסון וחוזר חלילה. כל המצבים במחזוריות זו קיימת בתוך הנפש 'בו-זמנית', כביכול, אך מכיון שההסתברות לבחירה מסוימת היא גודל אינווריאנטי (שאינו תלוי במערכת היחוס), לכן היא נכונה לכל המצבים האפשריים.

נספח ד' - שבירה והתאבכות

רצון ובחירה

בא ללמד ונמצא למד

בפיזיקה הקוונטית, משלים נפשיים מסייעים להסביר תהליכים מורכבים שנראים קשים להבנה דרך היגיון קלאסי. באלקטרודינמיקה הקוונטית, פיינמן משתמש במשל של מציל בים, כדי להמחיש כיצד אור "מחפש" את המסלול הקצר ביותר מבחינת זמן במעבר בין תווכים שונים, למרות שהמסלול אינו בהכרח ישר. כפי שהמציל בוחר לא לרוץ בקו ישר אל האדם הטובע, אלא לשלב בין חלק ארוך יותר על החול, שבו הוא מהיר, וחלק קצר במים, כך גם האור 'בוחר' מסלול "יעיל" – תוך חישוב כל האפשרויות. כלומר, דרך הדימוי של המציל, הפיזיקה מבקשת להמחיש את התבונה ה"מובנית" כביכול באור, המסוגל למצוא את הדרך המהירה ביותר ליעדו באמצעות חישוב מורכב של הסתברויות.

לדעתנו, ניתן ללמוד מהשוואה זו תובנה מעניינת גם בכיוון ההפוך, כלומר, ללמוד מהטבע הקוונטי של האור לנפש האדם. תהליך הבחירה, שבמבט ראשון נראה רציונלי ומודע, עשוי גם הוא להיות מונחה על ידי עקרונות קוונטיים כמו התאבכות והפרשי פאזה, בדיוק כמו באור.

הסבר קלאסי לשבירה של אור

תופעת השבירה של אור במעבר בין תווכים מוכרת מאז ומעולם ואף תוארה באופן מתמטי גאומטרי כבר לפני מאות שנים ונוסח בתור חוק אופטי, המכונה 'חוק סנל'. הפיזיקה הקלאסית מסתכלת על תופעת השבירה, בתור תוצאה טבעית של השפעת התווך החדש על גלי האור. צפיפות התווך החדש מולידה גלים אלקטרומגנטיים בעלי תדירות חדשה שמתאבכים עם חזית הגל שחודרת לתווך ומשנה את כיוון התנועה של האור. אין לאור יעד מוגדר מראש, אלא המסלול והיעד נקבעים כתוצאה מהשפעת התווך החדש על גלי האור.

בדומה לכך, ניתן לראות ברצון המודע של האדם, תוצאה של המציאות אותה הוא פוגש (כמו התווך שפוגש את האור).

הסבר קוונטי לשבירה של אור

לעומת זאת, בעקבות התפיסה הדואלית של האור, האלקטרודינמיקה הקוונטית מעניקה תאור מחודש לתופעת השבירה, וממנה נלמד גם לנפש. כדי להסביר את מסלול האור כך שיתאים גם לתאור החלקיקי שלו, האלקטרודינמיקה הקוונטית טוענת שכאשר פוטון נע בין תווכים בעלי צפיפויות שונות, כמו אוויר ומים, תופעת השבירה מתרחשת כך שהפוטון מחפש את המסלול המהיר ביותר, בהתאמה ל'עקרון פרמה' של "זמן המסלול הקצר ביותר". פיינמן מסביר שחישוב המסלול של האור בין תווכים מתבצע דרך שקילת אינספור מסלולים אפשריים, שלכל אחד מהם משויך וקטור הסתברותי עם פאזה מסוימת. כל מסלול תורם להסתברות הכללית בהתאם לפאזה שלו. כאשר מחשבים את סך ההסתברויות, מסלולים עם פאזות דומות יתחברו ויגבירו את הסיכוי להיבחר (התאבכות בונה), בעוד מסלולים עם פאזות שונות יתבטלו (התאבכות הורסת). כך נבחר בסופו של דבר מסלול ש"מרוויח" מהתאבכות בונה ומוביל את האור בדרך יעילה.

לסיכום, אם נניח שפוטון עובר מאוויר למים. פיינמן מתאר את חישוב המסלול דרך סך כל האפשרויות, באופן הבא:

1. **קביעת מסלולים אפשריים**: הפוטון "שוקל" כל מסלול פיזיקלי אפשרי בינו לבין היעד שלו במים. חלק מהמסלולים מתרחקים מהקו הישר, בעוד אחרים נעים בצורה כמעט ישירה.
2. **הגדרת וקטור הסתברותי עם פאזה לכל מסלול**: לכל מסלול מוקצה וקטור הסתברותי, שלמעשה מציין את הסבירות שהפוטון ינוע לאורך אותו מסלול. לכל וקטור יש פאזה, שהיא זווית הקובעת את מיקומו במעגל המרוכב של הווקטורים.
3. **חישוב ההתאבכות**: וקטורים עם פאזות דומות מתחברים ומחזקים זה את זה (התאבכות בונה), בעוד וקטורים עם פאזות שונות מבטלים זה את זה (התאבכות הורסת). התוצאה היא שסך כל המסלולים הרחוקים מהמסלול הקצר ביותר "נמחקים" עקב ביטול הדדי, ורק המסלולים הקרובים נשארים עם הסתברות גבוהה.

התאבכות בסדק יחיד – עקרונות כלל הויגנס

לפי כלל הויגנס, כל נקודה בגל מתפקדת כ"משדר" עצמאי של גלים משניים שמתפשטים לכל הכיוונים. כאשר קרני אור פוגעות בסדק, כל נקודת כניסה בסדק הופכת למקור שממנו מתפשטים גלים משניים באינספור כיוונים אפשריים. כל אחד מהגלים המשניים הללו יכול להגיע לנקודות שונות על מסך שנמצא אחרי הסדק, אך כיוון שהגלים מגיעים מזוויות ומרחקים שונים, נוצרים ביניהם הבדלים בפאזות.

(נשים לב כי גם אפשרויות רחוקות הן רלוונטיות ובחיריות כי האדם רוצה בהם כדי לבטא את הבחירה שלו - זה הצד החיובי (רק שהן מבטלות אחת את השניה) - הייתי חושב שהאדם בוחר באפשרות ורוצה רק אותה אבל מהקוונטים לומדים שאדם מעונין שיהיה לו אינסוף אפשרויות כדי לבטא בחירה)

פסים בהירים וחשוכים בהתאבכות

כאשר הגלים המשניים מתפשטים מהסדק, הם מתאבכים זה עם זה במפגשם על המסך. ההתאבכות יכולה להיות בונה או הורסת, בהתאם להבדלי הפאזה בין הגלים שהגיעו מנקודות שונות בסדק:

- **באזור המרכזי** שמול הסדק מתרחשת **התאבכות בונה**, שבה הפאזות של הגלים מתואמות ומחזקות זו את זו. זהו האזור הבהיר ביותר על המסך, שכן העוצמה של האור בו מוגברת.
- **ככל שמתרחקים מהמרכז** לצדדים, הגלים מגיעים עם פאזות פחות מתואמות, וכך **נוצרת התאבכות הורסת**: הפאזות הסותרות מבטלות זו את זו, ונוצרים אזורים חשוכים יותר ככל שמתרחקים מנקודת המרכז.

הקבלה זו מזכירה את תופעת השבירה במעבר אור מתווך לתווך (כמו במים), שבה מסלולים "רחוקים" או מסובכים פחות נוטים להיבחר בגלל ביטול עצמי (התאבכות הורסת) של האפשרויות הרחוקות. גם כאן, התאבכות הורסת של המסלולים הפחות יעילים גורמת לכך שהאור מרוכז בעיקר באזורים הקרובים למרכז, בעוד הצדדים נותרים חשוכים יותר.

אם כן, התחלנו את דרכנו בהשוואה של האור לנפש (במשל המציל) כדי להסביר את טבע האור, אך כעת, לאחר שנעשתה השוואה זו, נוכל ללמוד חזרה מהאור לנפש. באופן דומה להתאבכות מסדק אחד ולתופעת השבירה באור, אפשר לדמות את הרצון המודע בנפש לתהליך של בחירה שלוקח בחשבון ריבוי של מסלולים הסתברותיים בעלי פאזות שונות, כאשר לבסוף יבחר המסלול בעל ההסתברות הגבוהה ביותר, הנובע מתיאום בין הפאזות.

כאמור, לרצון המודע יש צד שהוא תוצאה של הערכת תועלת או סך הכוחות שהמציאות מפעילה על האדם. כלומר, מצד אחד הרצון המודע הוא שכלול של השפעות המציאות על האדם. אך כעת חשפנו גם צד שני ברצון המודע, צד בחירי. הצד הבחירי מתבטא במעין התאבכות נפשית של הרצון. כמו בשבירה או בהתאבכות מסדק אחד, כל אפשרות מגיעה עם פאזה של רצון, כאשר אפשרויות עם פאזות מתואמות מתחזקות ומקבלות עדיפות, בעוד אפשרויות עם פאזות סותרות מתבטלות – ממש כפי שקורה עם האור.

בפרק ?? הסברנו שהפרשי הפאזות ברצון, הם ניגודיות בנפש בין הרצון להסחף על ידי התאווה לרצון להיות בלתי תלוי בו. לפי זה, כאשר הנפש בוחרת בין אפשרויות שונות (מסלולים שונים), יש השפעה בין פאזות הרצון שכל אחת מהאפשרויות מופיעה בה. אפשרויות קרובות ונגישות יהיו בעלי פאזות תואמות וממילא ההסתברויות שלהן יהיו גדולות. לעומת זאת, האפשרויות (המסלולים) הרחוקות יהיו בעלי פאזות שונות שיתקזזו ויגרמו לכך שבדרך כלל לא נבחר באפשרויות אלו. מדברינו עולה, כי בחירה היא לא ביטוי של אקראיות אלא גילוי של הרצון הפנימי בנפש. כמו כן, עולה מדברינו שלא נכון לומר שהבחירה נוטה להגיון נתון מסוים, אלא שההגיון הוא מסקנה של ההסתברות הגבוהה, ולמעשה הוא מבטא את הבחירה (ולא הפוך).

רצון בדרך חיוב ובדרך שלילה

בבחירה נפשית, יש הבדל משמעותי בין הכרעה כאשר האפשרויות אמיתיות לבין הכרעה כאשר האפשרויות מדומות (שהאדם משער ומדמה שקיימות). כאשר מדובר באפשרויות אמיתיות, הבחירה נעשית בדרך חיובית – האדם מזהה את האפשרות המתאימה ביותר ורוצה בה באופן מודע. לעומת זאת, כשמדובר באפשרויות מדומות, ההכרעה מתרחשת

בעיקר על ידי שלילת האפשרויות הרחוקות, תהליך שמבוסס על עקרון של "פאזות" מנוגדות, כדלהלן.

כמו בכל רצון, גם במקרה של אפשרויות מדומות, כל אפשרות כוללת בתוכה שני כיוונים ('פאזות'): כיוון אחד שמושך את האדם לבחור באפשרות ולהיסחף אליה, וכיון שני שלא רוצה להסחף ולהתחייב לאפשרות מסוימת זאת. במצב זה, האפשרויות המדומות נראות כאפשרויות 'רחוקות', וכאשר האדם בוחן את אפשרויות אלו הוא אומר לעצמו: *"למה ללכת על אפשרות רחוקה אחת ולא על אפשרות רחוקה אחרת?"*. השאלה הזו עצמה יוצרת ביטול הדדי בין האפשרויות המדומות, שכן הפאזות המנוגדות ברצון מבטלות זו את זו. מכיון שמבחינת אפשרות א' להסחף לאפשרות ב' משמעותה היא לא להסחף לאפשרות א', אנו מקבלים סתירה בין הפאזות. הצד ברצון לאפשרות אחת שרוצה להסחף מתבטל בצד באפשרות אחרת 'שטוען' שלא נכון להסחף ולהתחייב דווקא לאפשרות אחת. כך, התוצאה הסופית היא הכרעה אוטומטית באפשרות קרובה יותר, כזו שנשארת "בלתי מבוטלת".

סדקים לעומת שבירה

האינטראקציה בין "הפאזות" האלו דומה מאוד למה שקורה בשבירת אור: האור מתפשט בכל הכיוונים האפשריים (כלומר גם באפשרויות או מסלולים רחוקים), אך הכיוונים הרחוקים מבטלים זה את זה בגלל הפאזות המנוגדות שלהם. כך, האפשרויות הרחוקות, שהן בפועל תיאורטיות בלבד, אינן תורמות להתקדמות הסופית של האור בכיוונים אלו.

בשונה מהמצב בשבירה, שבו האפשרויות הרחוקות נוצרות ומתבטלות תוך כדי תהליך פנימי, בניסוי שני הסדקים קיימות אפשרויות אמיתיות – שני מסלולים שדרכם יכול לעבור החלקיק. אכן, ניתן להתייחס לתנועת הפוטונים אחרי המעבר בסדקים באופן דומה לתנועת הפוטונים בשבירה (שלוקחת בחשבון אינספור מסלולים אפשריים עד המסך), אך עיקר החישוב שמענין אותנו בניסוי שני הסדקים הוא חיבור המסלולים הישירים שיוצאים משני הסדקים ונפגשים בנקודה משותפת על המסך. מסלולים אלו משפיעים זה על זה דרך תבנית התאבכות, חלקם בהתאבכות הורסת וחלקם בהתאבכות בונה.

אם נשוב ונשווה לניסוי כרטיסי החופשה של טברסקי ושפיר, ניסוי שני הסדקים מדמה שתי אפשרויות אמיתיות שעומדות בפני התלמיד: אפשרות של קניית כרטיס חופשה כפיצוי על כשלון בלימודים ואפשרות של קניית כרטיס כפרס על הצלחה בלימודים. ההתאבכות בין שתי האפשרויות משפיעה בפועל על מספר התלמידים שקונים כרטיסים במצב של אי-ידיעה. לעומת זאת, נוכל לשאול את עצמנו: מדוע כאשר התלמיד אינו במצב אי-ידיעה, הוא אינו מייצר לעצמו התאבכויות מאפשרויות רחוקות שישללו את האפשרות של קניית הכרטיס המוצע? לדוגמא, התלמיד יכול לצייר לעצמו אפשרויות אחרות לחופשה, או דרכים שונות להשיג את החופשה (לא דרך מכירת הכרטיסים). בעקבות מה שהסברנו לעיל, נאמר שאפשרויות רחוקות אלו שדורשות יותר מאמץ וזמן, דומות למסלולים האיטיים בשבירה. התווך שמעכב את האור הוא כמו קשיים בהשגת החופשה, ולכן כל האפשרויות הרחוקות של בירור על כל מיני חופשות חלופיות או דרכים להשיג את החופשה (וכדומה), למעשה מבטלים אחד את השני כמו שהמסלולים הרחוקים מבטלים אחד את השני בניסוי השבירה.

נצייר לדוגמא, שלתלמיד מוצע כרטיס חופשה זול באזור נופש מסוים בארץ מגוריו, ישראל. כעת, במקום שהתלמיד יקנה את הכרטיס לחופשה הזמינה והקרובה, הוא ישקול לקנות כרטיס לחופשה יקרה יותר בארץ אחרת לגמרי, לדוגמא בצרפת. במקביל התלמיד ישקול גם לקנות חופשה יקרה באנגליה. מבחינת התלמיד, שתי האפשרויות, מצד אחד שונות לחלוטין אך מצד שני מנקודת מבטו קרובות מאוד אחת לשניה. לכן, כאשר הוא בוחן את ההסתפות לאפשרות א' היא תתחבר להסתפות לאפשרות ב' ותסתור אותה. לעומת זאת, כאשר הוא ישקול אפשרויות קרובות אליו - כמו לקנות את הכרטיס המוצע או לחפש לקנות כרטיס לחופשה דומה באזור אחר בישראל - ההסתפות לאפשרות של קנית הכרטיס המוצע תחוזק על ידי האפשרות של לקנות חופשה באזור אחר וכך תגביר את ההסתברות שהוא בפועל יקנה את הכרטיס המוצע. התלמיד יאמר לעצמו: מכיון שאין הבדל גדול בין החופשות אז כבר אקח את החופשה המוצעת, כך שבפועל ההסתפות לאפשרויות קרובות למעשה מחזקות אחת את השניה.