

## תוכן העניינים

ז	הקדמה לתרגום החדש מאת פרופ' חנוך גוטפרויד
יג	הקדמת המתרגם למהדורה העברית (תרפ"ט)
טו	הקדמת המתבר למהדורה העברית (תרפ"ט)
יז	הקדמת המתבר למהדורה הגרמנית הראשונה

### חלק ראשון: על תורת היחסות הפרטית

1	1. התוכן הפיזיקלי של משפטים בגאומטריה
3	2. מערכת הקואורדינטות
5	3. המרחב והזמן במכניקה הקלאסית
7	4. מערכת הקואורדינטות הגלילאית
7	5. עקרון היחסות (במשמעותו המצומצמת)
10	6. משפט חיבור המהירויות במכניקה הקלאסית
	7. חוק התפשטות האור ועקרון היחסות אינם מתיישבים לכאורה
11	
13	8. על מושג הזמן בפיזיקה
16	9. יחסיות הבו-זמניות
18	10. על יחסיות מושג המרחק במרחב
19	11. טרנספורמציית לורנץ
23	12. התנהגות סרגלים ושעונים בתנועה
25	13. משפט חיבור המהירויות. ניסוי פיזו
28	14. הערך ההאוריסטי של תורת היחסות
29	15. תוצאות כלליות של התאוריה
32	16. תורת היחסות הפרטית והניסיון
36	17. המרחב הארבע-ממדי של מינקובסקי

**חלק שני: על תורת היחסות הכללית**

- 39 18. עקרון היחסות הפרטי ועקרון היחסות הכללי
- 41 19. שדה הכבידה
20. שוויון המסה ההתמדית והמסה הכבידתית
- 44 כטיעון בזכות עקרון היחסות הכללי
21. באיזה מובן אין יסודות המכניקה הקלאסית ותורת היחסות הפרטית מספקים?
- 47 22. מסקנות אחדות מעקרון היחסות הכללי
- 48 23. התנהגות שעונים וסרגלים על גוף ייחוס מסתובב
- 51 24. רצף אויקלידי ורצף לא-אויקלידי
- 54 25. קואורדינטות גאוסיות
- 56 26. הרצף מרחב-זמן בתורת היחסות הפרטית
- 60 כרצף אויקלידי
27. הרצף מרחב-זמן בתורת היחסות הכללית אינו רצף אויקלידי
- 61 28. ניסוח מדויק של עקרון היחסות הכללי
- 63 29. פתרון בעיית הכבידה על יסוד עקרון היחסות הכללי
- 65

**חלק שלישי: התבוננות ביקום כמכלול**

- 69 30. קשיים קוסמולוגיים בתאוריה של ניוטון
- 70 31. האפשרות של יקום סופי אך בלתי מוגבל
- 74 32. מבנה המרחב לפי תורת היחסות הכללית

**נספחים**

- 76 1. פיתוח פשוט של טרנספורמציית לורנץ
- 82 2. העולם הארבע-ממדי של מינקובסקי
- 84 3. על האימות הניסיוני של תורת היחסות הכללית
- 92 4. מבנה המרחב בהקשר של תורת היחסות הכללית
- 94 5. יחסות ובעיית המרחב

## הקדמה לתרגום החדש

בנובמבר 1915, לאחר הגשת הגרסה הסופית של תורת היחסות הכללית, התיישב איינשטיין לכתוב סיכום מקיף של התאוריה לקהילה המדעית. כבר אז חשב על כתיבת ספר פופולרי לציבור הרחב על תורת היחסות הפרטית והכללית גם יחד. הוא כתב על כך לידידו הקרוב מישל פֶסוֹ: "ההצלחה הגדולה בנושא הכבידה משמחת אותי מאוד. אני שוקל ברצינות כתיבת ספר בעתיד הקרוב על תורת היחסות הפרטית והכללית, אם כי, כמו עם כל הדברים שאינם נתמכים על ידי רצון נלהב, אני מתקשה להתחיל. אבל אם לא אעשה כן, התאוריה לא תהיה מובנת כפשוטה, למרות שהיא כזו, בבסיסה."

איינשטיין השלים את כתב היד בדצמבר ו"הספרון" (כך כינה אותו) "תורת היחסות: התאוריה הפרטית והכללית (מהדורה פופולרית)" יצא לאור באביב 1917.

איינשטיין האמין כי חוקי הטבע יכולים להיות מנוסחים במספר עקרונות בסיסיים. הוא האמין שחובתו להסביר את העקרונות הללו במונחים פשוטים לקהל הרחב ולהעביר את האושר והסיפוק שהבנת העקרונות האלה יכולה להעניק. איינשטיין ציין בהקדמתו הקצרה: "המחבר נקט במיירב המאמצים להציג את הרעיונות העיקריים באופן ברור ופשוט ככל האפשר, ובדרך כלל, בסדר ובהקשר שבו הם נוצרו בפועל מלכתחילה." ועם זאת, הספר אינו פופולרי במובן המקובל. הוא פופולרי במתכונתו, בדיאלוג עם הקורא, בדוגמאות מחיי היום-יום ובמיעוט הנוסחאות המתמטיות, אך הוא אינו מתפשר על קפדנות

## ח | הקדמה לתרגום החדש

מדעית והקורא מגלה עד מהרה כי נדרש מאמץ אינטלקטואלי כדי לעקוב אחר זרימת המחשבות של איינשטיין ואחר טיעונו.

בהקדמתו כתב איינשטיין גם, שלמען הבהירות הוא נאלץ תכופות לחזור על עצמו "מבלי להתחשב ולו במעט בהצגת הדברים הנאה." למרות קביעה זו, הספר כתוב בתחכום ואלגנטיות. הדרך מהמכניקה הניוטונית לתורת היחסות הפרטית ולאחר מכן לתורת היחסות הכללית, שהובילו להשלכות מיידיות, התגלתה כאודיסאה אינטלקטואלית מרגשת. בספר אין כמעט זכר לדרך החתחתים שעבר ולקשיים שנתקל בהם בדרכו להישג הזה.

איינשטיין לא היה מרוצה מהתוצאה. במכתב נוסף לבסו כתב: "התיאור התגלה יבש למדי. בעתיד, אניח את הכתיבה למישהו שדיבורו שוטף בקלות רבה יותר וגופו תקין יותר משלי."

למרות הביקורת העצמית של איינשטיין, הספר זכה להצלחה גדולה. בין השנים 1917 ו-1922 הוא יצא בארבע עשר מהדורות בגרמנית, ולאחר האיטוש של התעקמות האור בשדה הכבידה, כפי שניבאה התאוריה של איינשטיין, הוא תורגם והופיע גם בשפות זרות רבות.

בשנת 1947, זמן קצר לאחר מלחמת העולם השנייה ועשרים וחמש שנים אחרי המהדורה הגרמנית הקודמת, פנתה חברת ההוצאה לאור Vieweg, שהחזיקה בזכויות הפרסום מהמהדורה הראשונה, לאיינשטיין בהצעה לפרסם מהדורה חדשה בגרמנית. תגובתו הכילה רק שני משפטים שבהם הוא דחה ללא סייג הצעה זו: "לאחר הרצח ההמוני של אחי היהודים על ידי הגרמנים, איני רוצה שאף אחד מהפרסומים שלי יצא לאור בגרמניה." יחסו התרכך עם השנים והוא אישר את הוצאת המהדורה הגרמנית בשנת 1954, המהדורה האחרונה שהופיעה בחייו.

ספר זה הוא מסמך ייחודי בהיסטוריה של הכתיבה המדעית. זהו ניסיון לאפשר לקורא המתעניין, שאין לו רקע בפזיקה, לתפוס ולהעריך את גדולתו של אחד ההישגים האינטלקטואליים המתוחכמים

## הקדמה לתרגום החדש | ט

ביותר של המוח האנושי, ובכך להעניק לו, כפי שאיינשטיין ניסח זאת: "שעות אחדות של אתגר מהנה." איינשטיין פונה לאינטואיציה של הקורא מבלי להניח שיש לו ידע קודם בנושא. הוא משתמש במטפורות מוכרות כמו קרונות רכבת ורציפים. לעתים קרובות הוא מזמין את הקורא להשתתף בתהליך החשיבה על ידי העלאת שאלה, שעליה הוא עונה בעצמו או בשמו של הקורא. חלקים כאלה של הטקסט נראים כדיאלוג אפלטוני חד-צדדי, שמזמין את הקורא להשתתף באופן פעיל בתהליך החשיבה.

איינשטיין היה מעורב בתהליך הפרסום וקיים התכתבות נרחבת עם המו"ל על המהדורות העוקבות של הספר, על תרגומים לשפות אחרות ועל הענקת זכויות למו"לים זרים. הוא הכניס שינויים סגנוניים וטקסטואליים ממהדורה למהדורה. לעתים הוסיף פרקים שלמים ונספחים חדשים. כך, הפרקים 30–32, המהווים חלק שלישי של הגרסה הנוכחית של הספר, ועוסקים ביקום בשלמותו, הופיעו לראשונה במהדורה השלישית בשנת 1918. לאותה מהדורה איינשטיין הוסיף גם שני נספחים: "גזירה פשוטה של טרנספורמציות לורנץ" (כתוספת לסעיף 11) ו"העולם הארבע-ממדי של מינקובסקי" (כתוספת לסעיף 17).

הנספח "האימות הניסיוני של תורת היחסות הכללית" נכתב עבור המהדורה הראשונה באנגלית (1920) לבקשתו של המתרגם. הוא דן בשלוש הבדיקות הניסוייות הקלאסיות של תורת היחסות הכללית: קדימות הפריהליון של כוכב הלכת חמה, התעקמות קרני האור על ידי שדה הכבידה והסטת אורך הגל של הספקטרום בשדה הכבידה ("ההיסט הכבידתי לאדום"). נספח זה נכלל גם במהדורה הגרמנית העשירית בשנת 1920. הנספח הרביעי "מבנה המרחב בהקשר של תורת היחסות הכללית" הופיע לראשונה במהדורה האנגלית ה-14 (1946), ולאחר מכן נכלל במהדורה הגרמנית בשנת 1954. הוא תוספת לפרק 32 ועוסק בשאלה הקוסמולוגית על אופי היקום.

י | הקדמה לתרגום החדש

בעל אופי ומשמעות מיוחדת הוא הנספח הארוך והמפורט "תורת היחסות ובעיית המרחב". הוא הופיע לראשונה במהדורה האנגלית ה-15 בשנת 1954, ולאחר מכן נוסף למהדורה הגרמנית ה-16 באותה השנה. נספח זה שונה מאוד מהנספחים האחרים. הוא משקף את התפתחות תפיסתו של איינשטיין את המושג מרחב והוא בעל אופי פילוסופי יותר.

הרעיון לתרגם את ספרו של איינשטיין לעברית עלה לראשונה בשנת 1921 כאשר המו"ל של הוצאת הספרים "הבין-טריטוריאליט" של כתב העת "רנסנס" פנה למזכירתו של איינשטיין, שהייתה באותה עת בתו החורגת אילזה, כדי לברר לגבי זכויות התרגום לעברית וליידיש. אילזה העבירה את הבקשה הזאת לפרידריך פיווג, דירקטור בחברת ההוצאה לאור Vieweg. היא הוסיפה: "הדבר יחשב כטובה מיוחדת עבור פרופ' איינשטיין אם תסכים לא לדרוש שכר כלשהו עבור התרגום לשתי השפות הללו, ופרופ' איינשטיין, מצדו, מתכוון לוותר על חלקו". איננו יודעים מה הייתה תגובת המו"ל, אך היוזמה הזאת לא יצאה לפועל.

בפברואר 1926 קיבל איינשטיין פנייה מיעקב גרינברג מווינה ובה בקשת רשות לתרגם את הספר לעברית. גרינברג הציג את עצמו כבעל תואר דוקטור מאוניברסיטת היידלברג, שם למד מתמטיקה, פיזיקה וכימיה. הוא כתב בעבר על איינשטיין ועל התאוריה שלו ב"האנציקלופדיה של היהדות". פנייה זו באה שנה אחרי פתיחת האוניברסיטה העברית בירושלים, שאיינשטיין היה אחד ממייסדיה, חבר בוועד המנהל הבינלאומי של חבר הנאמנים שלה, ויו"ר הוועדה האקדמית. אין זה פלא, אפוא, שאיינשטיין קיבל בברכה ובלב שלם את ההצעה. במקרה זה, כך נראה, טיפל בעניין בעצמו מבלי לערב את בית ההוצאה לאור Vieweg. גרינברג הודיע לאיינשטיין, במכתב נוסף שנשלח ביולי 1926, שמו"ל מתל-אביב מוכן לקחת על עצמו את הפרויקט וביקש ממנו, גם בשמו של המו"ל, לכתוב הקדמה למהדורה

## הקדמה לתרגום החדש | יא

העברית. בצדו האחורי של מכתב זה הציע גרינברג את הנוסח להקדמה, שאיינשטיין אימץ מבלי להוסיף שינויים כלשהם. הספר יצא לאור ב-1928 בהוצאת "דביר". ההקדמה של איינשטיין וזו של גרינברג מובאות כלשונן במהדורה הנוכחית. כמו כן, מופיע כאן, על העטיפה, הדפס הדיוקן של איינשטיין, מעשה ידי האמן הרמן שטרוק. ההדפס הזה הופיע גם במהדורה העברית הראשונה ובמהדורות רבות אחרות מאותה התקופה. הרמן שטרוק היה ידידו של איינשטיין בברלין. הוא עלה לארץ ישראל ב-1922 והתיישב בחיפה. איינשטיין ביקר בביתו בעת ביקורו בארץ בפברואר 1923. הספר הזה, שהוא אחד החיבורים הקלסיים בתולדות הפיזיקה ואחד הידועים ביותר של אלברט איינשטיין, מובא לקורא העברי בתרגום עדכני בשנה שבה העולם המדעי כולו מציינ מאה שנים לתורת היחסות הכללית.

חנוך גוטפרוינד, פברואר 2015