

מהו החומר האפל המרכיב את היקום? ומה קרה שנייה אחרי המפץ הגדול?

שאלות היסוד במדע שהובילו לבניית מאיץ החלקיקים הענק ב־CERN והקשר הישראלי בבניית הגלאים במאיץ

מאת אהוד זוכובני

להשתמש כדי לנסות ולענות על השאלות שהזכרנו למעלה. כדי למדוד ולרשום את תוצאות ההתנגשויות היה על המדענים לבנות גלאי חלקיקים ענקיים במחיר של כמיליארד דולר האחד. בבניית אחד משני גלאי הענק הללו, "אטלס", השתתפו שלוש קבוצות ישראליות: מהטכניון, מאוניברסיטת תל־אביב וממכון ויצמן למדע. מאחר שהמאיץ מייצר כמיליארד התנגשויות בשנייה, ומאחר שבטכנולוגיה המודרנית ביותר לא ניתן למדוד ולרשום את התוצאות של יותר מכמאה התנגשויות בשנייה, על הגלאי "אטלס" להחליט אילו התנגשויות לרשום ואילו לא. על ההחלטה להתקבל בשבריר קטן של שנייה. כדי להחליט יש לדעת מה אירע בהתנגשות: אילו חלקיקים נוצרו ומה הייתה מהירותם. על המידע להתקבל במהירות, והדרך היחידה לעשות זאת היא באמצעות גלאי מהיר כבד.

גלאים מהירים כאלה פותחו בשנות השמונים במכון ויצמן למדע ושימשו את שלוש הקבוצות הישראליות בניסוי קודם. לצורכי "אטלס" היה על הצוות הישראלי לשנות ולהאיץ את פעולת הגלאים – שינוי שאינו דבר של מה בכך. גודלו של הניסוי חייב את הצוות הישראלי לבנות גלאי ענק ששטחם הכולל כשטחם של שני מגרשי כדורגל. לשם כך נבנו כ־3,600 גלאים ששטחם כשני מ"ר כל אחד. כדי לאפשר את בניית כל הגלאים בפרק זמן קצר הוקמו, מלבד המעבדות במכון ויצמן למדע, מעבדות ביפן ובסין המבוססות על ידע ישראלי, ובהן התבצעה בניית הגלאים הישראליים (ביפן כ־20% מהגלאים, בסין כ־10%, ורובם – כ־70% בישראל). אך בכך לא תם

מאז ומעולם שאפה האנושות להבין ממה בנוי העולם ומהם הכוחות הפועלים בו. כאלפיים שנה לאחר שדמוקריטוס שיער שהחומר עשוי אטומים הוכיח המדע המודרני שאכן כך הדבר. הייתה זו תחילתו של המסע המרתק אל תוככי החומר. מהר מאוד התברר שהאטומים, בניגוד למשמעות שמם ביוונית, אינם בלתי ניתנים לחלוקה. נחשף שהאטום מכיל גרעין כבד המוקף בענן אלקטרונים, והגרעין עצמו מורכב משני סוגי חלקיקים: הניטרון והפרוטון. אך גם אלו אינם בלתי ניתנים לחלוקה אלא מורכבים משלושה קוורקים כל אחד. האם גם הקוורקים מורכבים מחלקיקים קטנים יותר? האם הדרך המרתקת הזו, שבה כל חלקיק מורכב מחלקיקים קטנים ממנו, הגיעה אל קצה? מה תפקיד הגאומטרייה והסימטריות בפיזיקה? מהו מקור המסה? מדוע היקום מורכב מחומר ואין בו אנטי־חומר כלל? מהו אותו חומר אפל המרכיב כ־20% מהיקום?

שאלות אלו ואחרות הביאו את מדינות אירופה להקים את מאיץ החלקיקים הענק LHC (Large Hadron Collider), החזק והגדול מכל קודמיו במרכז למחקר גרעיני בסרן (CERN) שבז'נווה.

זה 15 שנים עוסקים מדענים מכל העולם בתכנון, בבנייה ובהרכבה של מאיץ החלקיקים העצום הזה. אורכו של המאיץ כ־27 ק"מ. לכל אורכו מצויה תעלה שבתוכה ריק (ואקום) מהטובים ביותר שנוצרו במעבדה. התעלה מקוררת לטמפרטורה הנמוכה מזו שבחלל החיצון ומוקפת מגנטים מהחזקים שנוצרו אי פעם. בתוך התעלה נעים פרוטונים במהירות קרובה למהירות האור ומתנגשים זה בזה בעצמה המשחזרת את התנאים ביקום פחות מביליונית של שנייה לאחר המפץ הגדול. בתוצאות ההתנגשויות הללו אפשר

הכותב הוא פרופסור לפיזיקה של החלקיקים במכון ויצמן למדע וחבר הוועדה הישראלית לאנרגיות גבוהות.



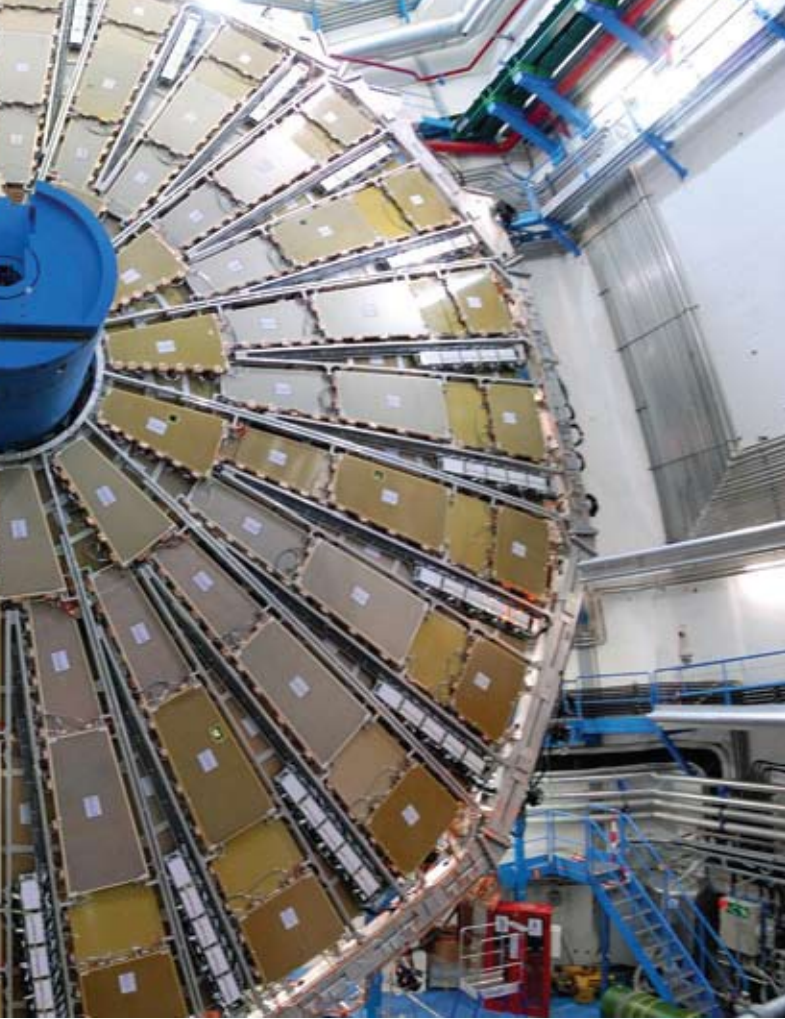
הרכבת חלק פנימי בגלאי "אטלס"

למסגרת האלומיניום התומכת אותם במקומם הסופי בניסוי ולמערכות האלקטרוניקה המפעילות את הגלאים וקוראות את תגובותיהם. משהושלמו בניית הגלאים ובדיקתם, הועברו היחידות לזינווה, ובמהלך השנתיים האחרונות הותקנו במקומן בתוך המערך הענקי של גלאים שונים שהגיעו מכל רחבי העולם.

הרכבת מערכת הענק הזו הסתיימה באמצע 2008. המאיץ קורר, וב-10 בספטמבר חווה העולם את השקתה של המערכת המדעית הגדולה, המורכבת, המתוחכמת והשאפתנית ביותר שנבנתה אי פעם. אלומות של פרוטונים החלו סובבות בתעלה הארוכה, והתנגשויות ראשונות נרשמו. הניסוי, בהשתתפות ישראל, פעל למופת, וההתנגשויות נמדדו ונרשמו גם על ידי המערכת הישראלית. אך כשבוע לאחר ההשקה קרס מוליך חשמלי המחבר בין שניים מכ-1,200 מגנטי הענק וגרם לקצר ולחיימום עז של האזור. עקב הנזק שנגרם נדחתה תחילת הניסוי לאביב 2009, והעולם ייאלץ להוסיף ולעצור את נשימתו בציפייה לתשובות לשאלות המרתקות שהגיעו את המדענים לבנות מערכת מדהימה זו.

האתגר שעמו היה על הצוות הישראלי להתמודד: על גלאי החלקיקים תוצרת כחול-לבן לקבוע את מיקומו של כל חלקיק בדיוק של כס"מ אחד (!) (וכאמור שטחם של כל הגלאים כשטח של שני מגרשי כדורגל). מלבד אתגר טכנולוגי אדיר זה על הגלאים להבחין לפחות ב-19 מבין כל 20 חלקיקים החולפים דרכם.

כשש שנים עמל הצוות הישראלי על פיתוח הגלאים ועל הטכנולוגיה הדרושה לבנייתם. כשש שנים נוספות עמלו צוותים במכון ויצמן למדע על בניית הגלאים, וצוותים בטכניון ובאוניברסיטת תל-אביב על בקרת האיכות של הגלאים. ההיסטוריה של כל גלאי ותכונותיו, כפי שנחשפו בבקרת האיכות, נרשמו במסד נתונים שהכין הצוות של אוניברסיטת תל-אביב. מאחר שגלאי החלקיקים הללו מיועדים לעבוד במקום שבו הקרינה הרדיואקטיבית עזה, פיתח הצוות של הטכניון מערכת בקרה מרחוק המסוגלת לשנות את תנאי העבודה של הגלאים על פי הצרכים המשתנים. לתעשייה הישראלית חלק ניכר בתהליך העבודה: מפעלים בכל רחבי הארץ הכינו רכיבים שונים לגלאים,



אחד מששת גלגלי הענק שהוכנו והורכבו על ידי הצוות הישראלי



מעמד השלמת ההרכבה של ששת הגלגלים, בראשית 2008. הצוות הבינלאומי ובתוכו חברי הקבוצה הישראלית.

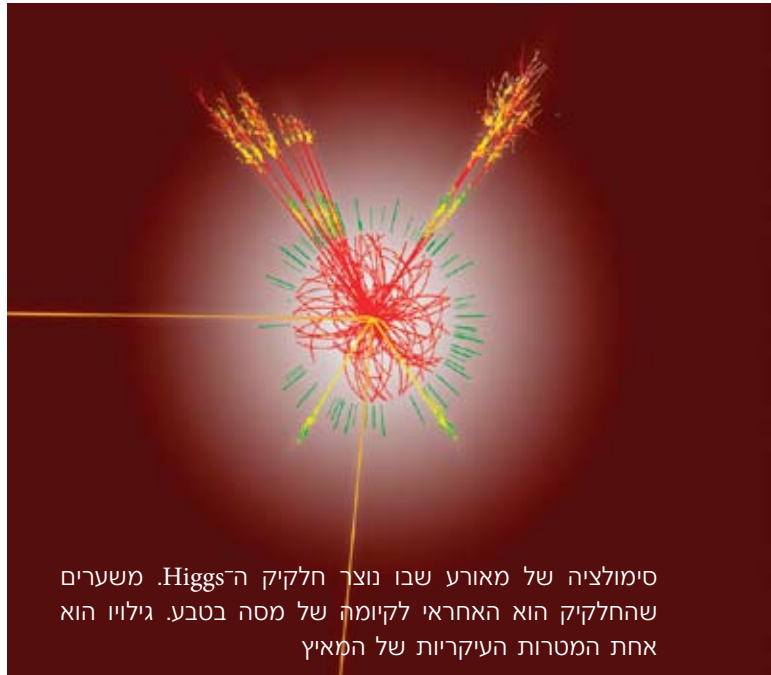
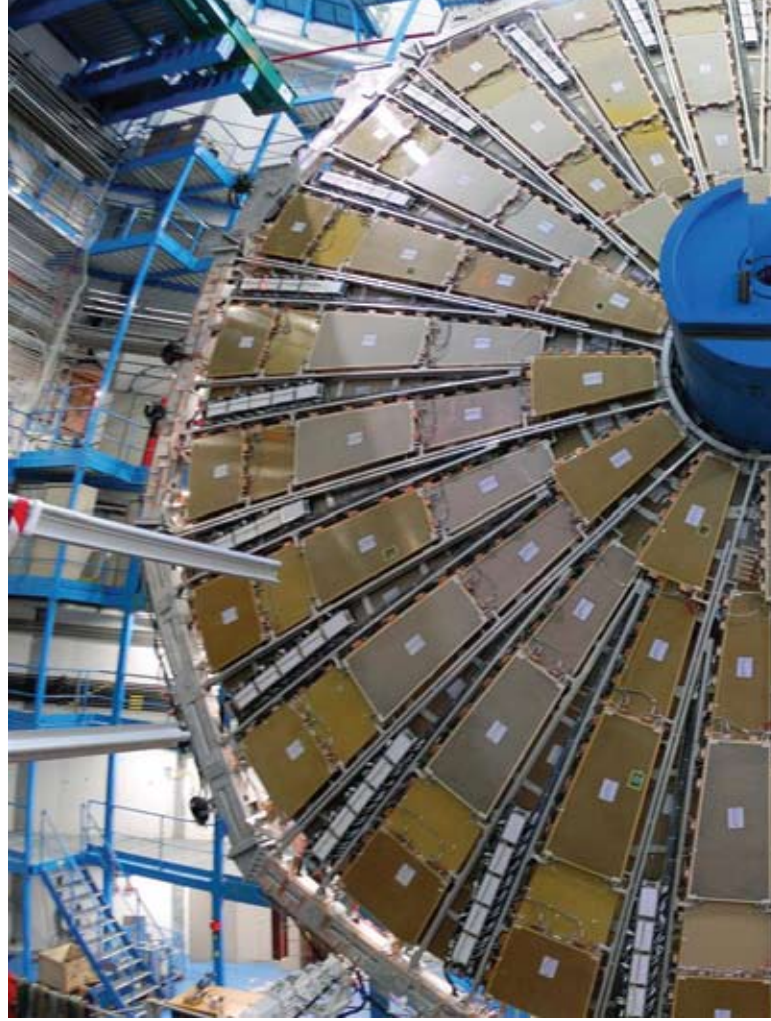
תמיכת ישראל בפרויקט "אטלס" ב-Cern

♦ תחילת ההתקשרות של מדינת ישראל עם המתקן בסרן הייתה בשנות השמונים ונועדה לקדם את הפעילות המחקרית בתחום האנרגיות הגבוהות ולאפשר למדענים הישראלים לבצע מחקר חדשני כעמיתיהם בחו"ל. מאז מלווה את הפעילות הוועדה הישראלית לאנרגיות גבוהות, שבראשה עומד כיום פרופ' אליעזר רבינוביץ, המתמנית על ידי משרד המדע ועל ידי האקדמיה. מאז שנת 1992 משתתפת ישראל בפעילות המחקרית בסרן במעמד של "משקיפה" (observer) – בעלות של 2.25 מיליון פרנק שווייצרי לשנה, המועברים כיום באמצעות משרדי התמ"ת והמדע.

♦ זה 14 שנים ישראל משתתפת בפרויקט הבינ-לאומי של תכנון ובניית גלאי החלקיקים "אטלס". העלות הכוללת של פיתוח הגלאי ובנייתו היא כ-500 מיליון דולר, ובפרויקט משתתפים עשרות אוניברסיטאות ואלפי מדענים מאירופה, מארצות הברית, מיפן, מסין ומישראל. חלקה של ישראל במימון הפרויקט הוא כ-10 מיליון דולר, מרבית המימון באמצעות הקרן הלאומית למדע מתקציב ות"ת.

♦ בראש הקבוצה הישראלית בפרויקט "אטלס" עומד פרופ' גיורא מיקנברג. ואלה חברי הקבוצה: פרופ' עילם גרוס, פרופ' אהוד דוכובני, ד"ר לורן לוינסון, ד"ר דניאל ללוש, מר מאיר שועה וד"ר ולדימיר סמחטין – מכון ויצמן למדע; פרופ' שלמה דדו, פרופ' שלומית טרס, מר נחמן לופו ופרופ' יורם רוזן – הטכניון, מכון טכנולוגי לישראל; פרופ' הלינה אברמוביץ, פרופ' יונה אורן, פרופ' גדעון אלכסנדר, ד"ר גדעון בלע, ד"ר יאן בן-חמו, פרופ' אודט בנארי, ד"ר אבי סופר ופרופ' ארז עציון – אוניברסיטת תל-אביב.

♦ הקבוצה הישראלית זכתה פעמיים במענקים להקמת "מוקדי המחקר" בקרן הלאומית למדע. תכנית "מוקדי המחקר" נועדה לתמוך בקבוצות מחקר מצטיינות במיוחד באוניברסיטאות, וזאת כדי לקדם פעילות מחקרית רחבה ברמה הגבוהה ביותר ובהיקף גדול ולאפשר לקבוצות מדענים להתחרות בהצלחה בקבוצות מחקר בחזית המדע העולמי.



סימולציה של מאורע שבו נוצר חלקיק ה-Higgs. משערים שהחלקיק הוא האחראי לקיומה של מסה בטבע. גילוי הוא אחת המטרות העיקריות של המאיץ