

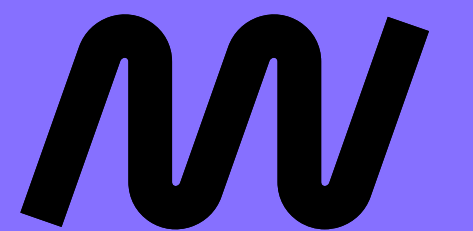


• לאור החשמל •

Bloomfield
Science Museum
Jerusalem

متحف العلوم
على اسم بلومفيلد
القدس

מוזיאון המדע
ע"ש בלומפילד
ירושלים



לאור החשמל

החשמל מפעיל את חיינו.

החשמל מניע את מחשבותינו ואת ליבנו.

החשמל מאיר את בתינו ומקל את עבודתנו.

החשמל מפעיל את המכונות בבתי החרושת שלנו ומשדר את דברינו למרחקים.

תערוכה מחשמלת זו ממחישה מהו חשמל כיצד מפיקים אותו וכיצד משתמשים בו, כיצד הוא נמצא בכל מקום, כיצד הוא מקרר ומחמם. כיצד הופך חשמל לאור ואור לחשמל, על הקשר שבין חשמל ומגנטיות, על חשמל בגופנו ובבעלי חיים, על הקשר שבין כימיה וחשמל ועל חשמל סטטי ושימושיו.



חשמל בכל מקום

כל חומר מלא בחשמל. מטענים שליליים שבאלקטרונים וחיוביים בגרעיני האטומים.

אך האלקטרונים הם קטנים ונעים בקלות. כאשר מוסיפים או מוציאים אותם מהחומר – מצטבר מטען. זהו ה"חשמל סטטי", הגורם למשל לשערותינו לסמור.

כאשר האלקטרונים נעים בצורה מסודרת נוצר זרם חשמלי. תנועה מסודרת זו אפשר ליצור בעזרת שדה מגנטי, אור, חום, לחץ או תגובות כימיות.



5 עקרונות להמרת אנרגיה לאנרגיה חשמלית



מחום לחשמל

זוג משטחים תרמואלקטרים (ממירים חום לחשמל ולהפך) מכוסים בדסקיות נחושת המחוברות למד זרם. נגיעה למשך שניות מספר באחת מדסקיות הנחושת מחממת את המשטח התרמואלקטרי היוצר זרם חשמלי הנמדד במודד.

המוצג ממחיש את האפקט התרמו־אלקטרי (תרמו=חום) – מתח חשמלי הנוצר בין שתי מתכות הנוגעות זו בזו ומשתנה כאשר מחממים או מקררים אותן. אפקט המשמש למדידת טמפרטורה ואף להפקת חשמל בקנה מידה קטן יחסית (התהליך אינו יעיל).



מכוח לחשמל

זוג דסקיות פיאזו אלקטריות (הממירות תנועה מכנית לחשמל ולהפך) מחוברות למודד. לחיצה על אחת הדסקיות יוצרת זרם. כאשר מפסיקים את הלחיצה נוצר זרם בכיוון הפוך.

המוצג ממחיש את האפקט הפיאזו אלקטרי הקיים בגבישים מסוימים שכאשר לוחצים עליהם הם מפיקים מתח חשמלי. מנצלים אפקט זה במיקרופונים, בחישני לחץ ובמציתי גז אלקטרוניים.



מכימיה לחשמל

ארבע דסקיות העשויות ממתכות שונות מחוברות למד זרם. נגיעה באצבעות בשתי דסקיות יוצרת זרם חשמלי כתוצאה מהפרש הפוטנציאל האלקטרוכימי שבין המתכות.

המוצג ממחיש כיצד נוצר זרם כתוצאה מהפרש הפוטנציאלים הכימיים (הפרש המתחים החשמליים הטבעי) שבין מתכות שונות כאשר אלקטרוליט (חומר היכול להתפרק ליונים הנעים בתוכו) נמצא ביניהן וכיצד בנויות למעשה סוללות חשמליות.



ממגנט לחשמל

סליל מחובר למד זרם ועליו מותקן מגנט. הנעה של המגנט במהירות הלוך וחזור ביחס לסליל יוצרת זרם שבמודד ניתן לראות את כיוונו ועצמתו. ככל שהשינוי מהיר יותר מתקבל זרם גדול יותר. המוצג ממחיש את עיקרון פאראדיי: שדה מגנטי המשתנה בקרבת מוליך משרה בו מתח חשמלי. מוליך משרה בו מתח חשמלי. עיקרון עליו בנויים מחוללים\גנרטורים\ דינמו ההופכים אנרגיית תנועה לאנרגיה חשמלית.



מאור לחשמל

תא סולארי המחובר למודד מואר על ידי נורה. כשחוסמים את האור הנופל על תאי השמש ניתן לראות את השינוי בעוצמת הזרם. המוצג ממחיש את עקרון פעולת תאי שמש (תאים סולאריים). האור "דוחף" את האלקטרונים שבצורן (סיליקון) וכך גורם ליצירת מתח וזרם חשמליים. תאי שמש שימושיים בעיקר במקומות שבהם קשה להתחבר לרשת החשמל, למשל, בלוויינים או במקומות מרוחקים ומבודדים אך חשופים לאור שמש.

חשמל מקרר ומחמם

זרם חשמלי יוצר חום כאשר הוא עובר בחומר המתנגד למעבר הזרם. כמות החום הנוצרת תלויה בעוצמת הזרם ובגודל ההתנגדות.

זרם חשמלי יכול לקרר כאשר הוא עובר דרך צומת של שתי מתכות שונות.

אבל דרך יעילה יותר היא להפעיל משאבה חשמלית לדחיסת גז, שלאחר מכן מתפשט ומתקרר. מקררים ומזגני אוויר פועלים בדרך זו.



קוררו את ידיכם (מקרר ללא חלקים נעים!)

סדרת גבישים פירואלקטריים דרכם יכול המבקר להזרים זרם בכיוונים שונים ועליהם ריבועי נחושת. בכיוון אחד הזרם גורם לחימום ריבועי הנחושת ובכיוון ההפוך מקרר אותם.

המוצג ממחיש את עקרון הפעולה של התקני חימום וקירור פירואלקטרים המבוססים על אפקט פלטיה (על שם האיש שגילה אותו). יתרונם של מתקנים אלו הוא בכך שהם פשוטים, קטנים ואמינים משום שאינם כוללים חלקים נעים. משתמשים בהתקנים אלו על מנת לקרר רכיבים אלקטרוניים ומקררים ניידים. אך לרוב אינם משמשים במקררים רגילים כי תהליך זה אינו יעיל וחלק גדול מהאנרגיה החשמלית הופך לחום.



עוף ניאון

(כיצד פועל תנור מיקרוגל?)

דגם תנור מיקרוגל ובתוכו מודל שקוף בצורת עוף המכיל מספר נוריות ניאון. המבקר יכול להפעיל את ה"תנור" בעצמה מלאה ולראות את הנוריות דולקות ברציפות או בעצמה חלקית שאז הן נדלקות וכבות לסירוגין.

המוצג ממחיש את עקרון הפעולה של תנור המיקרוגל הממחם בעזרת קרינה אלקטרומגנטית ואת הדרך בה שולטים על עצמת החימום.



חיכוך "חשמלי" (בזבוז אנרגיה חשמלית, אנרגיה ההופכת לחום)

זוג סוללות המדמות מקור מתח חשמלי מחוברות לנורות, האחת במוליכי מתכת עבים והשנייה במוליכים דקים. המבקר מפעיל את הסוללות כך שיזרימו זרם דרך המוליכים לנורות ורואה שבמעבר דרך המוליכים הדקים המתח החשמלי המגיע לנורה קטן (והיא מאירה באור חלש יותר) והמוליכים עצמם מתחממים יותר מהמוליכים העבים. המוצג ממחיש את התנגדות מוליכים לזרימת זרם דרכם, את הקשר שבין שטח החתך של המוליך להתנגדות זו ואת נפילת המתח, הפסדי האנרגיה וחימום המוליכים כתוצאה מהתנגדות זו.



חשמל הופך לאור ואור הופך לחשמל

לפני שנים השתמשו באש ליצירת אור.

האור שנוצר מחום הלהבה "מעורר" את אטומי החומר.

אור נורת הלהט נוצר גם הוא מחום, אך במקום להבה עובר להבה - עובר זרם חשמלי בתיל דק (חוט להט) ומחמם אותו.

זרם חשמלי יכול גם "לעורר" אטומים ללא חימום. בנורות התפרקות (פלאורסצנט) מואצים האלקטרונים על ידי שדה חשמלי, מתנגשים באטומים באטומי גז, וגורמים להם לפלוט אור ישירות.



נורת ליבון ומה קורה בתוכה?

נורת ליבון גדולה מחוברת למד זרם ומד טמפרטורה המודד את טמפרטורת חוט הלהט. סריג נפיצה המותקן לפני הנורה מאפשר לראות את הצבעים המרכיבים את האור הנפלט ממנה.

המבקר משנה על ידי סיבוב כפתור את עצמת הזרם בנורה, רואה את עצמת האור הנפלט ממנה, את הצבעים המרכיבים אותו ואת הקשר בין צבעים אלו לטמפרטורת חוט הלהט.

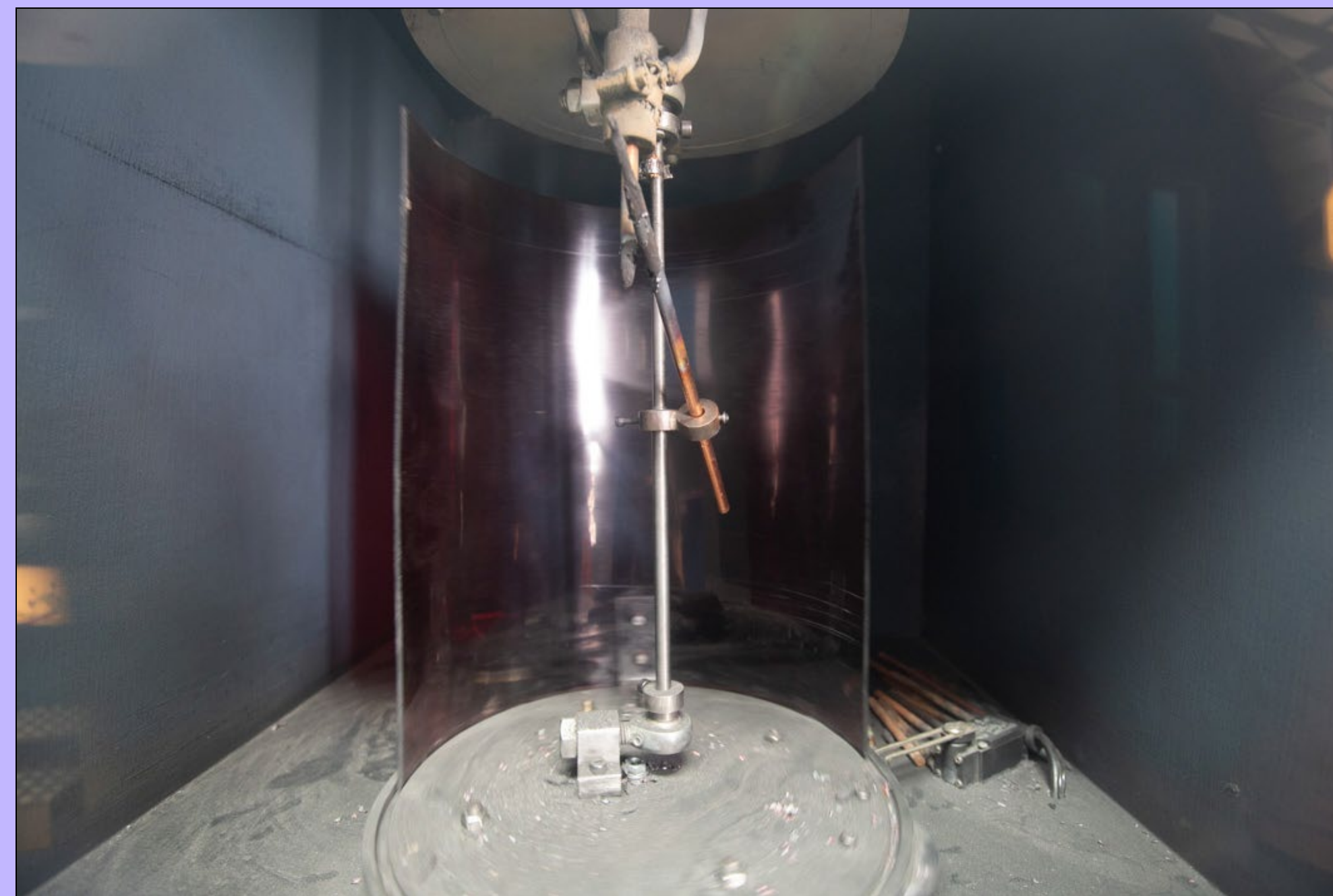
המוצג ממחיש את עקרון הפעולה של נורת ליבון ואת הקשר שבין עצמת הזרם, הטמפרטורה אליה מגיע חוט הלהט, עצמת וצבעי האור הנפלטים (קרינת גוף שחור). בכתובית ההסבר יש גם התייחסות לנצילותן הנמוכה של נורות אלו.



מנורת קשת

(יצירת אור מהתפרקות חשמלית בזרם גבוה באוויר מנורות החשמל הראשונות)

זוג אלקטרודות גרפיט שבלחיצת כפתור על ידי המבקר נוצרת ביניהן קשת חשמלית בזרם גבוה (מעל 100 אמפר) המאירה באור לבן ובוהק. המוצג ממחיש את עקרון הפעולה של נורות קשת ושל מכשירי ריתוך חשמליים ואת תופעת ההתפרקות החשמלית בזרמים גבוהים בכלל.

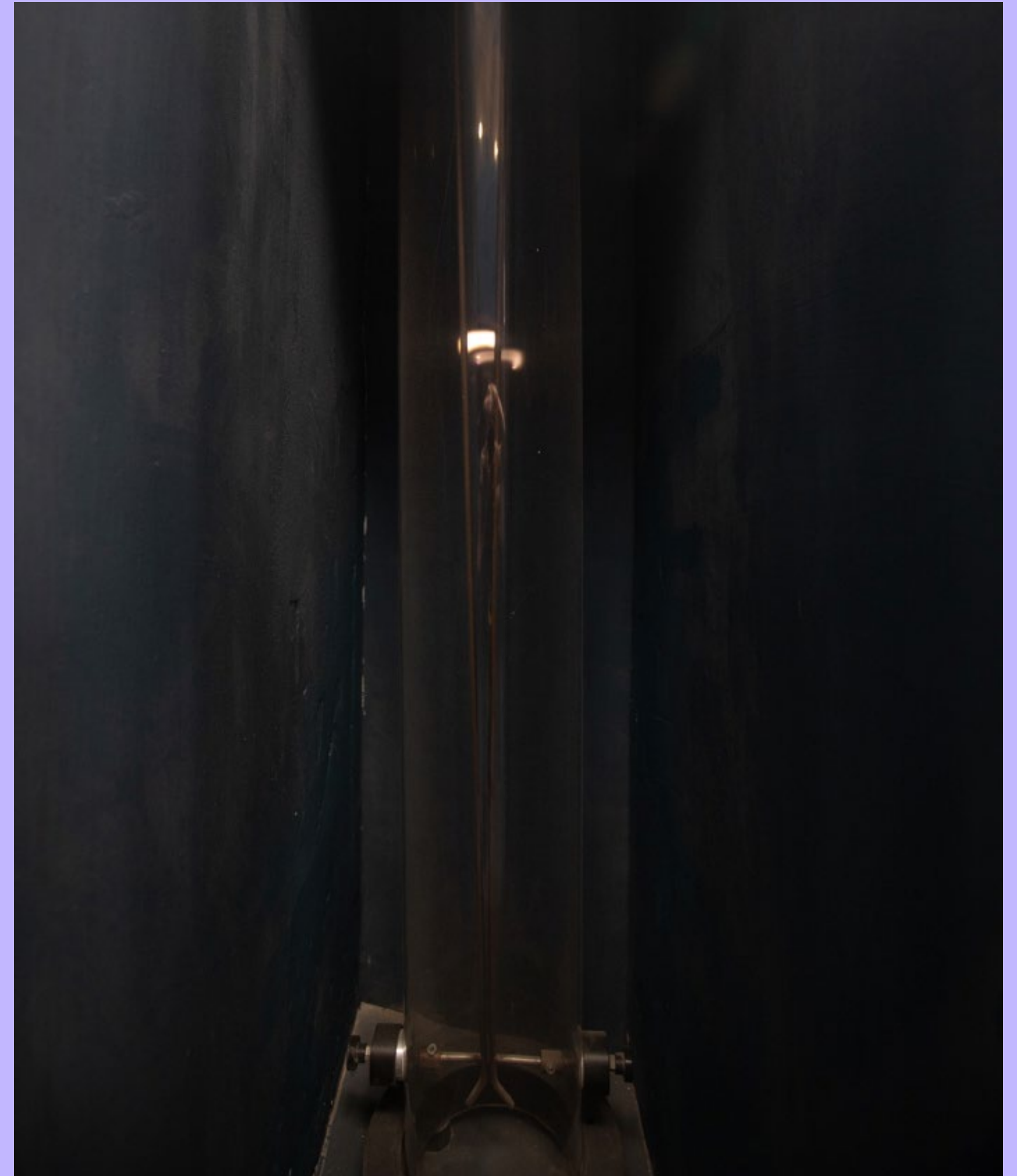


סולם יעקב

(ניצוץ חשמלי עולה למעלה)

זוג מוטות מתכת אנכיים המתרחקים זה מזה. בלחיצת כפתור מחבר המבקר את המוטות למקור מתח גבוה (מעל 7500 וולט) היוצר ניצוץ (התפרקות חשמלית) בחלקן התחתון. לאחר מספר שניות הניצוץ מתחיל לעלות כלפי מעלה, מגיע לקצות המוטות, נכבה ונדלק מחדש בתחתיתן. בזמן שהניצוץ עולה כלפי מעלה ניתן להבחין בצורת הקשת האופיינית שלו.

המוצג ממחיש את היווצרות קשת חשמלית כתוצאה מפריצת מתח גבוה דרך האוויר, את חימום הפלזמה הנוצרת ועלייתה כלפי מעלה (בצורת קשת) ואת האור הנפלט מאותה פלזמה.



מנורות שונות – צבעים שונים

(הבדלים בספקטרום צבעי האור של נורות שונות)

סדרת מנורות מסוגים שונים הפועלות כל אחת בעקרון פיסיקאלי שונה (ליבון, פלואורסצנט, נתרן, לדיום ואלקטרולומינסנציה) מאירות משטחים צבעוניים.

המבקר רואה את הבדלי הצבעים והגוונים של אותם משטחים הנוצרים בגלל ההבדלים שבספקטרום הקרינה של הנורות.

המוצג ממחיש את ההבדלים שבספקטרום האור הנפלט מנורות שונות: רציף מנורת ליבון, פסים ספקטראליים אופייניים למוליכים למחצה בלדים או לאדי אטומי נתרן, ספקטרום צבעים של חומרים פלואורסצנטיים בנורת פלואורסצנטים וכולי.



שפופרת התפרקות

(הבדלי צבעים ותופעות הקשורות בהתפרקות חשמליות בגזים שונים ובלחצים שונים)

צינור זכוכית גדול שבקצותיו זוג אלקטרודות המחוברות לספק מתח גבוה (מעל 7500 וולט). הצינור נשאב על ידי משאבת ריק ללחץ נמוך של פחות ממאית אטמוספירה, לחץ בו המתח הגבוה שבין האלקטרודות יוצר התפרקות חשמלית הפולטת אור. המבקר בלחיצה על כפתורים מכניס לשפופרת גזים מסוגים שונים (אוויר, הליום או ארגון) ורואה כיצד משתנה צורת וצבע ההתפרקות בהתאם לסוג הגז וללחץ שלו. בנוסף ניתן לראות בשפופרת תופעות נוספות הקשורות בהתפרקות חשמלית (אזורים בהירים וכהים הנעים קדימה ואחורה, פיצולים של הניצוצות במגע עם האלקטרודות ועוד).

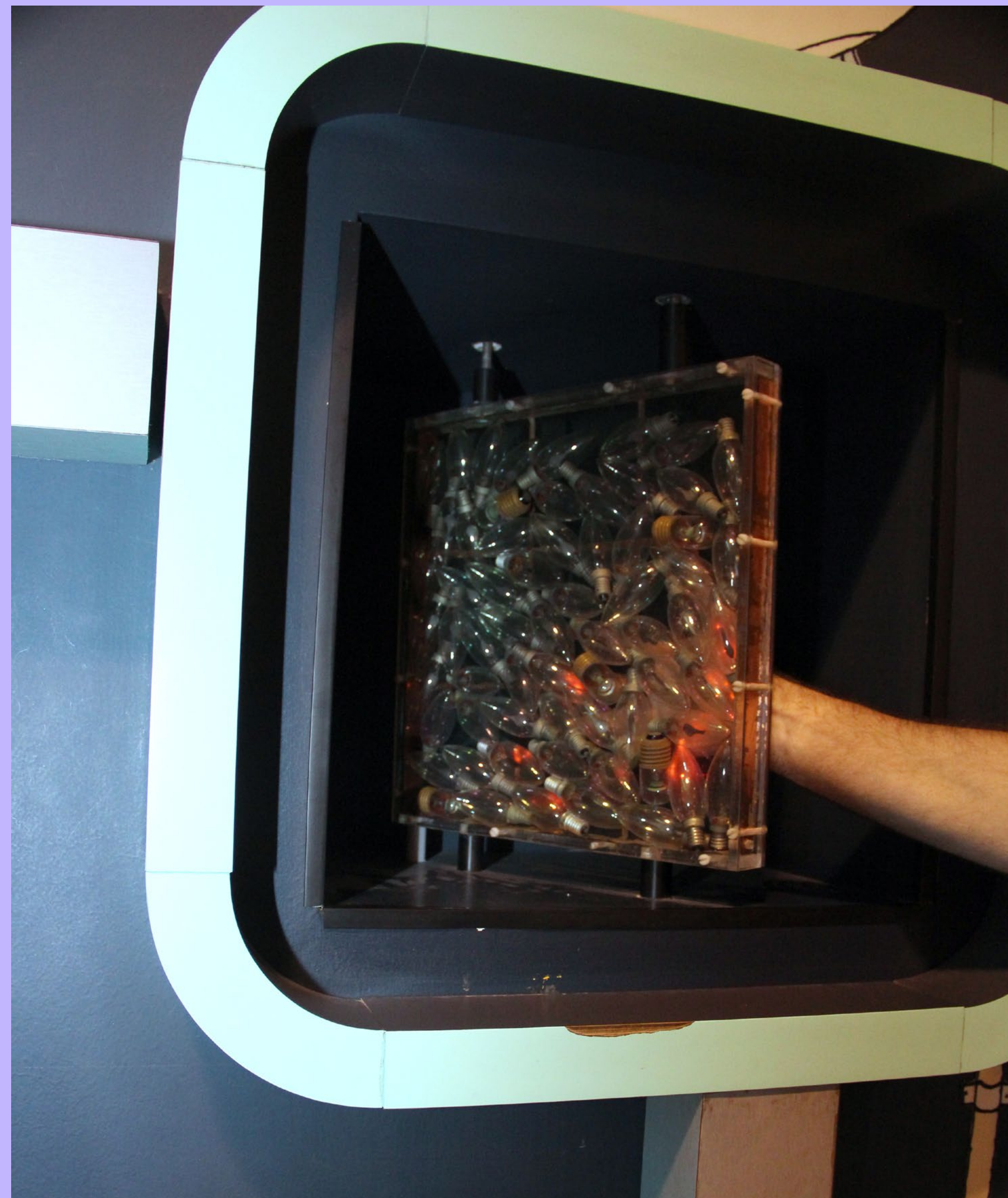
המוצג מדגים כיצד זרם חשמלי הזורם דרך אוויר יוצר אור, ממחיש את הקשר שבין סוג ולחץ הגז על צורת וצבע ההתפרקות, ואת העקרונות המדעיים שמאחורי פיתוח נורות התפרקות ונורות הפלואורסצנט.



נורות ללא חוט

(העברת אנרגיה חשמלית ללא חוטים וללא מגע)

סדרת נורות ניאון מותקנת מאחורי משטח זכוכית שבהיקפו אנטנה המשדרת גלים אלקטרומגנטיים. הנורות אינן מחוברות למקור מתח, אך כאשר מקרב המבקר את ידו לזכוכית הן נדלקות. יד המבקר משמשת כאנטנה ה"מושכת" אליה את הגלים האלקטרומגנטיים וכאשר הם עוברים דרך גז הניאון שבנורות הן מיננים אותו וגורמים לו לפלוט אור. הגלים האלקטרומגנטיים הינם בתדר גבוה של עשרות אלפי הרץ (תנודות בשניה) והזרם הוא כה נמוך עד שהמבקר אינו מרגיש דבר. המוצג ממחיש כיצד ניתן להעביר אנרגיה חשמלית ללא חוטים או מגע פיסי בכלל. עקרון המשמש כיום במקומות רבים (טעינת סוללות, חימום מזון בכיריים אינדוקטיביות, חימום מזון בתנור מיקרו גל...)



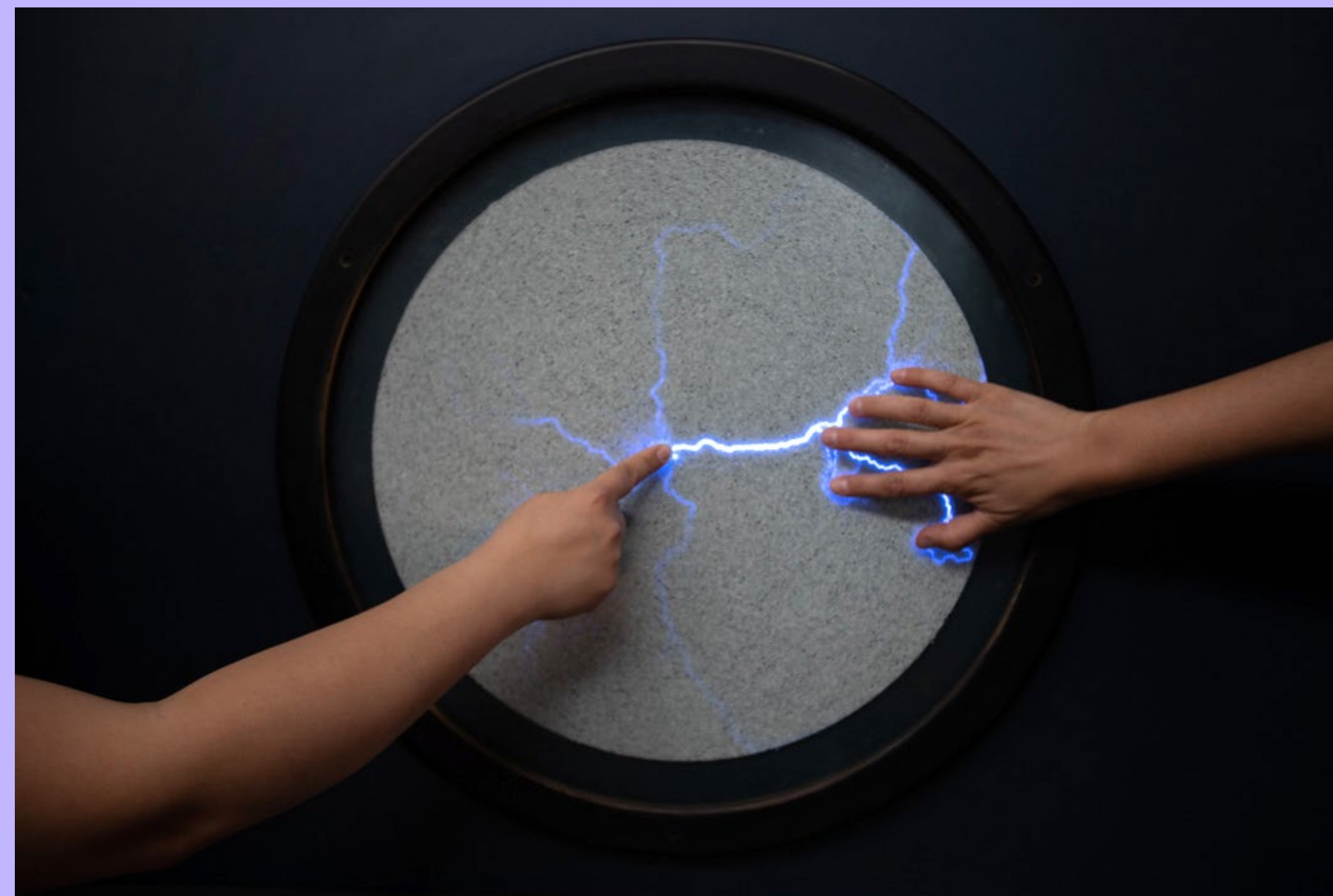
ברק מלאכותי

(יצירת אור בצבעים שונים בהתפרקות חשמלית)

"אקווריום זכוכית שטוח" בתוכו נמצאים חרוזי זכוכית המצופים בחמר פלואורסצנטי. בחלל האקווריום נמצא גז בלחץ נמוך ובמרכזו אלקטרודה המחוברת לספק זרם חילופין במתח ותדר גבוה. המתח הגבוה יוצר שדה אלקטרומגנטי בתוך האקווריום הגורם להופעת ברקים מלאכותיים בתוכו. הברקים העוברים על פני חרוזי הזכוכית וגורמים לציפוי הפלואורסצנטי שלהם להאיר בצבעים שונים.

כאשר מקרב המבקר את ידו לאקווריום הוא מושך אליה את הברקים ומשנה את צורתם.

המוצג ממחיש את ההשפעה של גופים מוליכים (יד המבקר) על שדה אלקטרומגנטי, יצירת התפרקות חשמלית בגז ופעולת חומרים פלואורסצנטים. המבקר אינו מרגיש בשדה או בזרם החשמלי כי עצמתם נמוכה מאד והתדר בו הם פועלים גבוה יחסית (עשרות קילו הרץ).



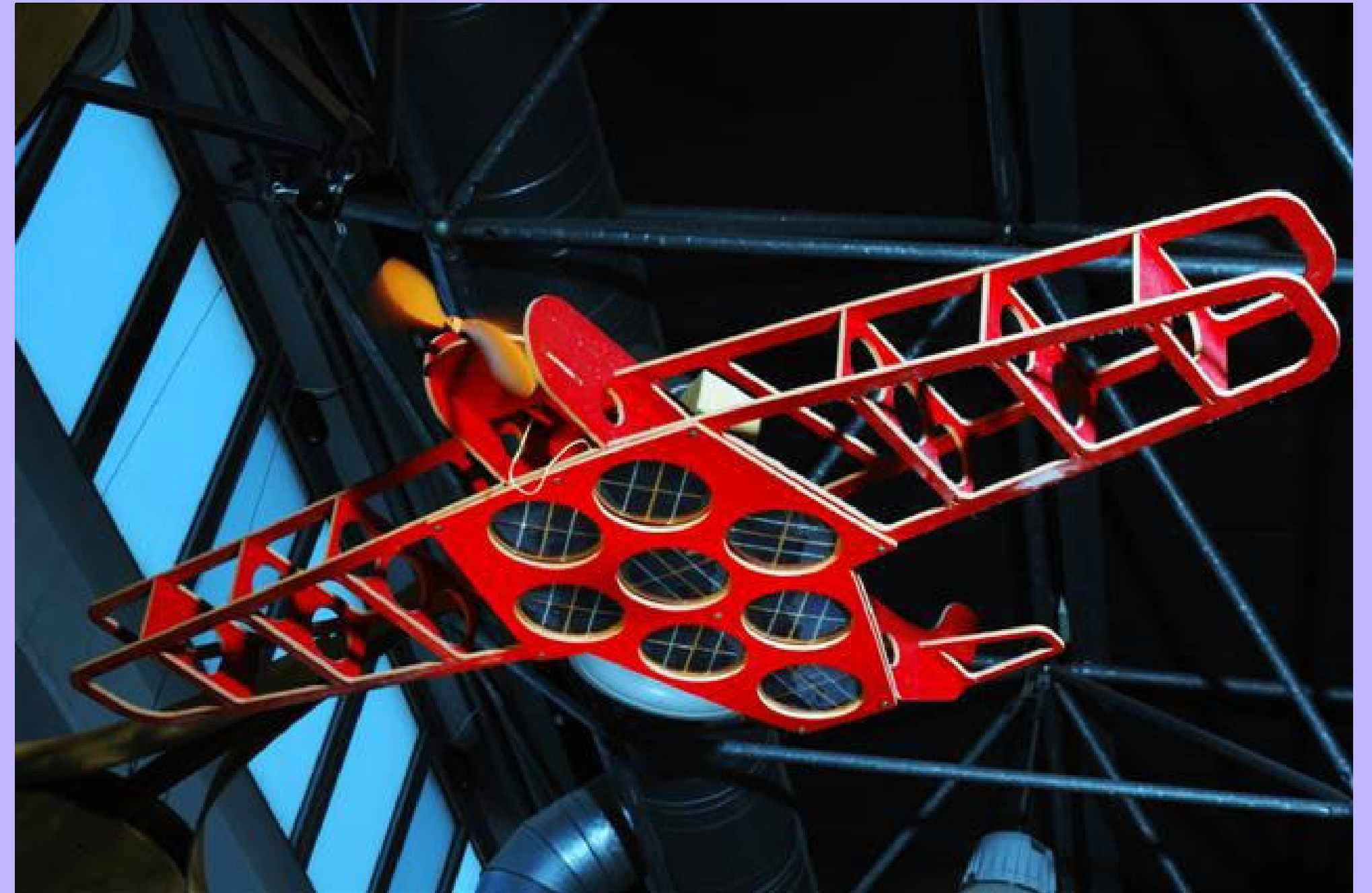
מטוסים סולאריים

(עקרונות פעולה ושימוש בתאים סולאריים)

שלושה מטוסים תלויים מהתקרה על ציר מסתובב. על "בטן" כל מטוס מורכבים תאם סולאריים המחוברים למדחף שבחזית המטוס. פנסים חזקים מאירים שלוש מראות המותקנות מתחת למטוסים.

המבקרים מסובבים את המראות ובעזרתם מכוונים את אלומות האור אל התאים הסולאריים המפעילים את המדחפים וגורמים למטוסים להסתובב. שיתוף פעולה בין המבקרים (כיוון שתי אלומות למטוס אחד, "העברה" של מטוס מאלומה לאלומה...) מאפשר לכמה מבקרים לפעול יחד ולסובב את המטוסים מהר יותר.

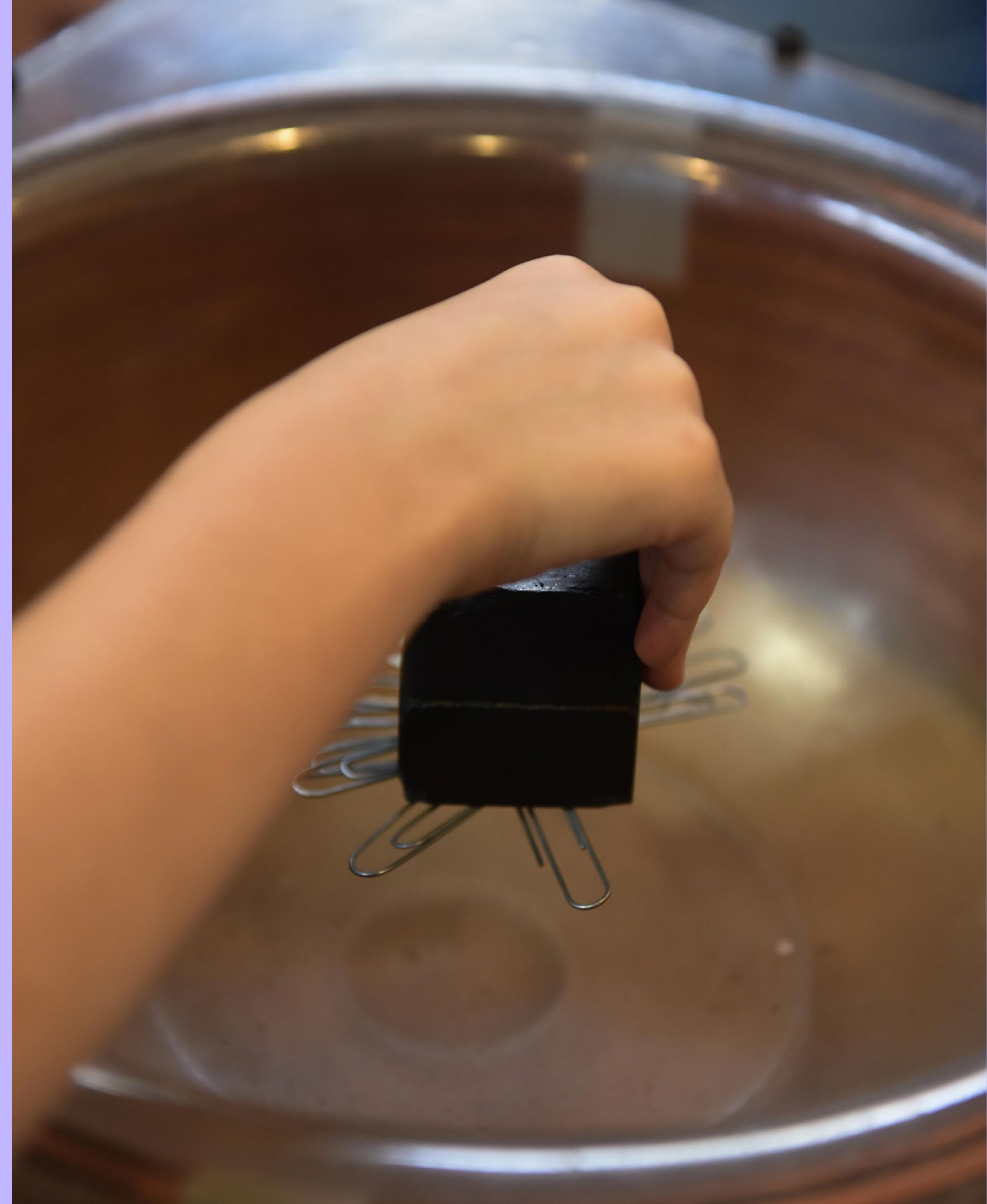
המוצג ממחיש פעולת תאים סולאריים, הפיכת אנרגית אור לאנרגיה חשמלית, שימוש באנרגיה זו ליצירת תנועה מכנית. בנוסף הוא מעודד את המבקרים לשיתוף פעולה ולעבודת צוות.



חשמל ומגנטיות

זרם חשמלי ושדה מגנטי יוצרים זה את זה.

- מגנט נוצר מתנועת האלקטרונים סביב גרעין האטום ואלקטרו־מגנט מזרם חשמלי בסליל.
- מתח חשמלי נוצר במוליך שהשדה המגנטי סביבו משתנה. כך פועלים הגנרטור, המשמש להפקת חשמל והשנאי המקטין או מגדיל את המתח חשמלי!
- שדה מגנטי מפעיל כוח ויכול להזיז מוליך דרכו זרם זרם – כך פועל המנוע החשמלי.

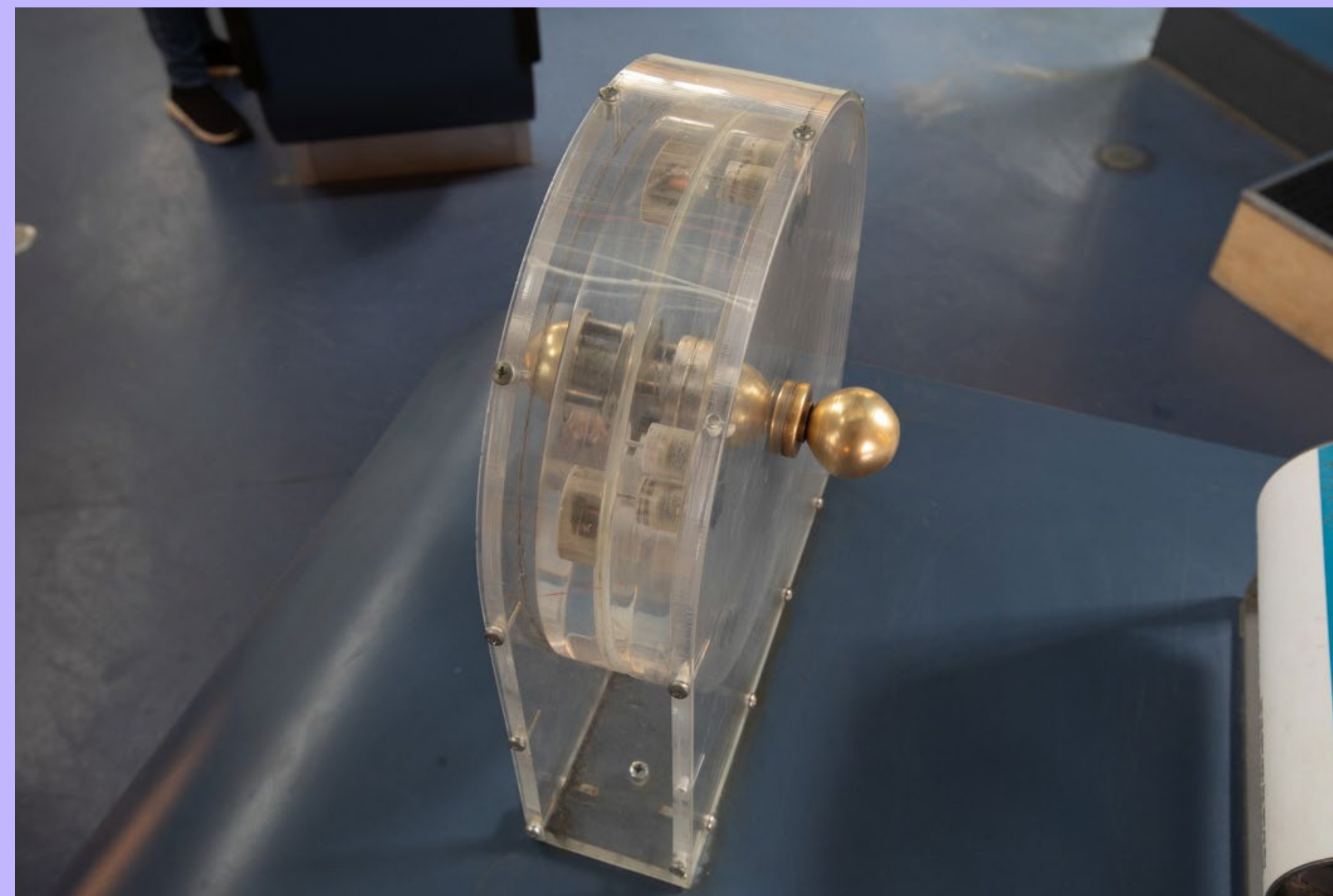


סחרחרת אורות

(יצירת חשמל מתנועה יחסית של מגנט וסליל)

סדרת סלילים המחוברים כל אחד לזוג נוריות זעירות (לדים) מותקנים בתוך דיסקית שקופה. דיסקית זוהי מותקנת מולה ובתוכה סדרת מגנטים.

המבקר מסובב את הדיסקיות האחת ביחס לשניה ורואה כיצד ואלו נוריות נדלקות כתוצאה מהתנועה היחסית שבין הסלילים ומגנטים. המוצג ממחיש את עקרון פעולת הדינמוֹ־גנרטור־מחולל הממיר אנרגיה מכנית לחשמלית. כיצד שינוי בשטף המגנטי יוצר מתח וזרם חשמליים ואת הקשר שבין כיוון וקצב השינוי לכיוון ועצמת המתח הנוצר.



דינמו הוא מנוע / מנוע הוא דינמו

(דמיון במבנה ופעולת מנוע ודינמו לזרם ישר)

זוג מנועי זרם ישר (סליל המסתובב בין קטבי מגנט) בעלי חזית שקופה מחוברים האחד לשני דרך מד זרם.

המבקר מסובב בעזרת ידיות את ציר אחד המנועים כך שהוא פועל כמחולל (דינמו) ומייצר זרם המסובב את המנוע השני ורואה במד הזרם את הזרם הזורם ביניהם. עצירת המנוע השני או סיבובו בכיוון הפוך מגביר את הזרם ואילו סיבוב שני המנועים באותו כיוון מקטין אותו.

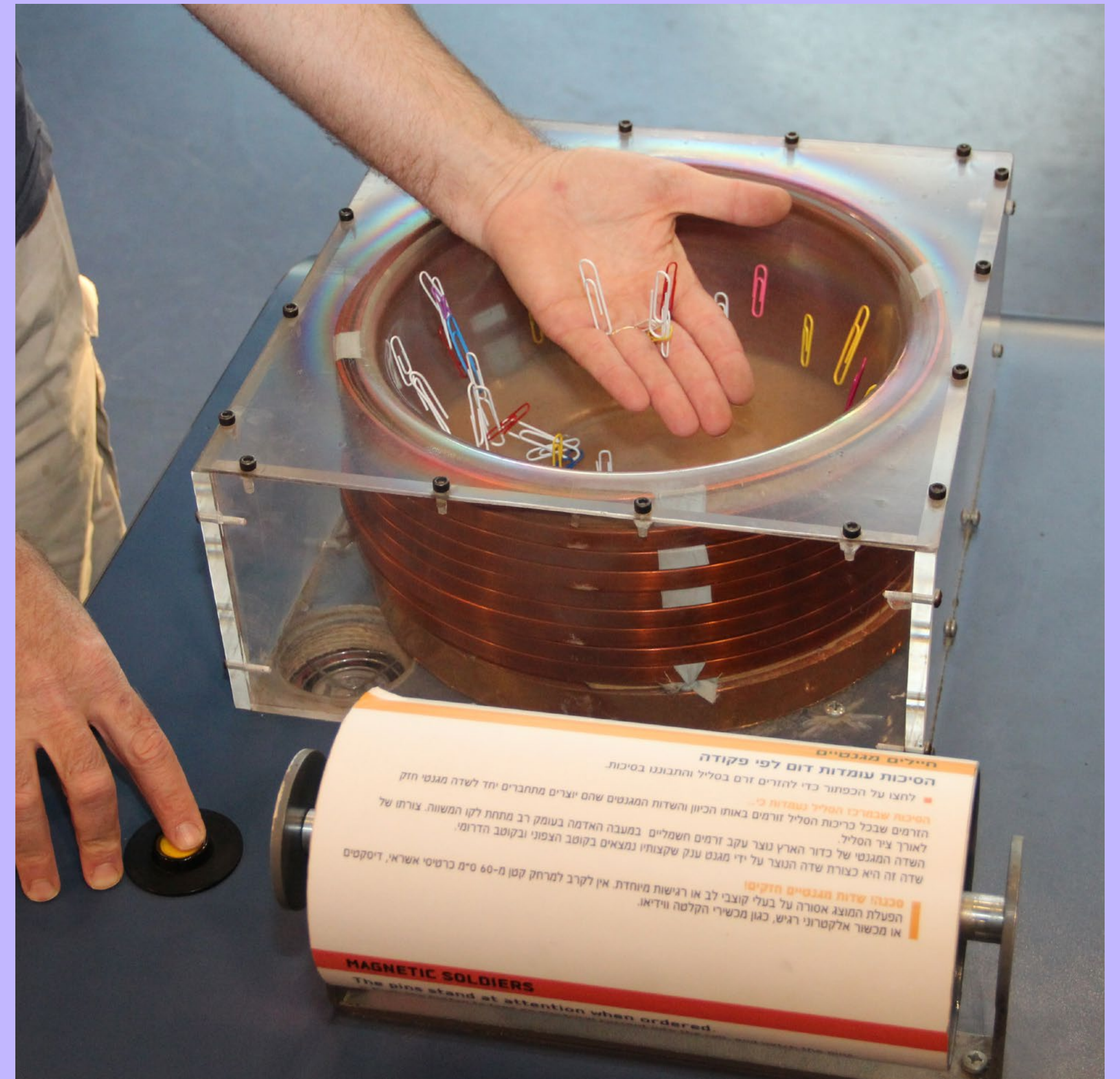
המוצג ממחיש את הקשר הסימטרי שבין זרם חשמלי ושדה מגנטי ובין שינוי בשטף המגנטי ויצירת מתח חשמלי ואת עקרון פעולת מנוע לזרם ישר כמו גם פעולת מחולל\דינמו.



חיילים מגנטיים

(המחשת עצמת וכיוון שדה מגנטי תלת ממדי בתוך ומחוץ לסליל)

סליל בקוטר כ־30 ס"מ בו זורם זרם חילופין בעצמה של כמה אלפי אמפר* כריכה הגורם לסיכות ואטבים משרדיים להסתדר באוויר בהתאם לקווי השדה המגנטי וכך ממחיש באופן וויזואלי את כיוונם במרחב. בנוסף הכנסה של סליל המחובר ללד לתוך הסליל גורמת לד להאיר כתוצאה מהכא"מ המושרה בסליל הקטן. שינוי כיוון הסליל ומיקומו מאפשר למבקר ללמוד על כיוון ועצמת השדה האלקטרומגנטי! המוצג ממחיש את הקשר שבין זרם חשמלי לשדה מגנטי ואת כיוון השדה המגנטי הנוצר בסליל.



הזיזו את הזרם - הזיזו את השדה

(המחשת כיוון וצורת שדה מגנטי במוליך מלופף לסליל)

משטח מלבני עליו מותקנים כמה עשרות מצפנים וסביבו מלופף כבל מוליך הניתן להזזה ממקום למקום.

המבקר לוחץ על לחצן המחבר את הסליל למקור מתח המזרים דרום זרם בעצמה גבוהה של כמה עשרות אמפר והשדה המגנטי שהוא יוצר מסובב את מחטי המצפנים. המבקר יכול להזיז את הסליל לאורך המשטח, לראות את ההשפעה על כיוון המצפנים ולזהות את כיוון השדה המגנטי.

המוצג ממחיש את הקשר שבין זרם חשמלי לשדה מגנטי ואת כיוון השדה המגנטי הנוצר בכבל מוליך, בתוך הסליל ומחוצה לו.



זרם אנכי / שדה אופקי

(המחשת עצמה וכיוון שדה של מוליך ישר וארוך במישור הניצב אליו)

משטח עגול עליו מותקנים כמה עשרות מצפנים שבמרכזו ובניצב אליו עובר מוט מוליך.

המבקר לוחץ על אחד משני לחצנים המזרימים כל אחד זרם של כמה עשרות אמפר אך בכיוונים הפוכים ורואה כיצד משפיע השדה המגנטי שיוצר הזרם על כיוון מחטי המצפן.

המוצג ממחיש את הקשר שבין זרם חשמלי לשדה מגנטי, את צורת השדה המגנטי הנוצרת סביב מוליך ישר נושא זרם ואת כיוונו כתלות בכיוון הזרם (כלל היד הימנית).



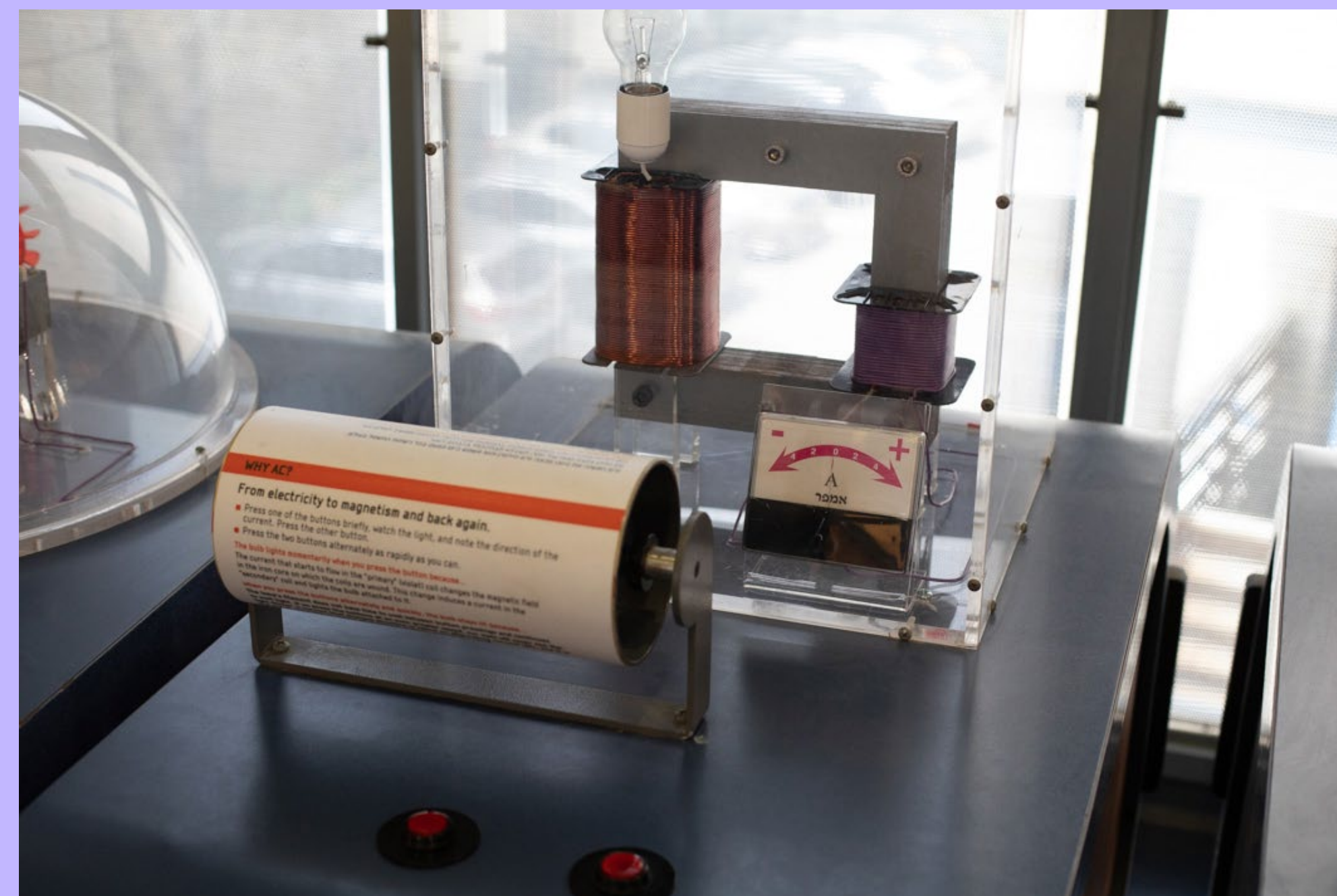
מדוע זרם חילופין?

(עקרון פעולת שנאי המרת זרם חשמלי לשדה מגנטי ולהפך)

גרעין ברזל של שנאי גדול (כ-30X30X30 ס"מ) עליו מלופפים זוג סלילים (ראשוני ומשני). הסליל הראשוני מחובר לזוג לחצנים שלחיצה עליהם מזרימה דרכו זרם (כל לחצן מזרים זרם בכיוון הפוך לשני). הסליל המשני מחובר לנורת ליבון מסחרית.

על המבקר ללחוץ בצורה מתואמת על זוג הלחצנים במטרה לגרום לנורה להאיר. הוא מצליח לעשות זאת רק כאשר הלחצנים נלחצים לסרוגין בקצב גבוה יחסית כך שהזרם בסליל הראשוני משנה במהירות את כיוונו (זרם חילופין). לחיצה ארוכה על הלחצן גורמת רק להבהוב רגעי בנורה.

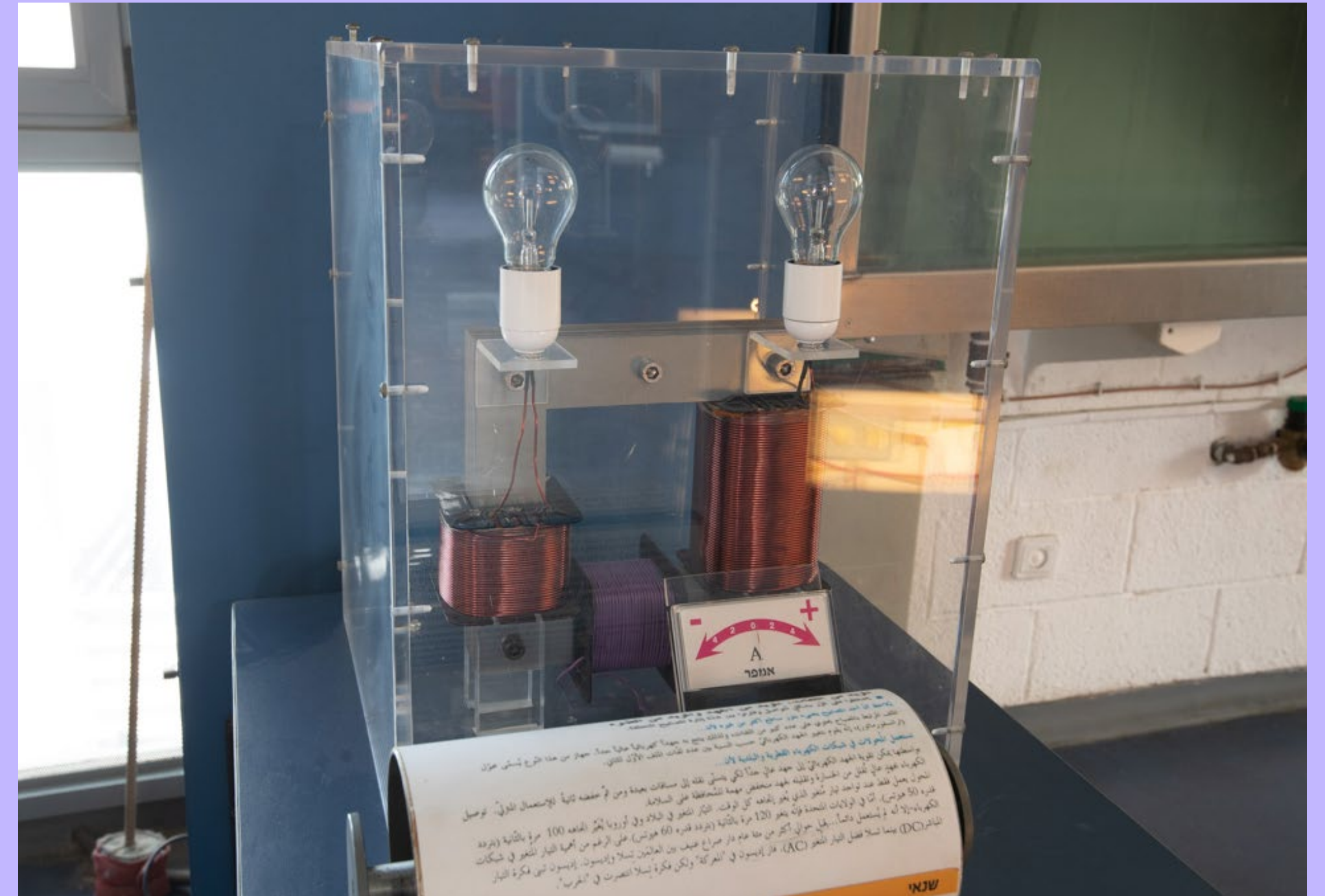
המוצג ממחיש את עקרון פעולת השנאי ואת יכולתו לפעול רק בזרם חילופין (כח אלקטרו־מניע נוצר רק כתוצאה משינוי בשטף המגנטי). כאשר זרם ישר בסליל גרעין הברזל מגיע לרוויה, אין שינוי בשטף המגנטי ולא נוצר מתח חשמלי בסליל המשני.



יותר כריכות, יותר מתח, יותר אור (המחשת יחס השנאה)

גרעין ברזל של שנאי גדול (כ-30X30X30 ס"מ) עליו מלופפים שלושה סלילים: ראשוני, המחובר דרך לחצן למקור מתח חילופין וזוג סליליים משניים בעלי מספר ליפופים שוני המחברים כל אחד לנוורת ליבון. המבקר מחבר בלחיצה על הלחצן את הסליל הראשוני למקור מתח חילופין ורואה שהנורה המחוברת לסליל המשני בעל יותר ליפופים מאירה בעצמה גדולה יותר.

המוצג ממחיש את עקרון פעולת השנאי ואת יחס ההשנאה הנקבע על ידי יחס מספר הליפופים שבין הסליל המשני לראשוני וכיצד ניתן בעזרת שנאי להעלות או להוריד את המתח והזרם של זרם חילופין. בהסבר על המוצג יש התייחסות ל"מלחמת הזרמים" (ישר מול חילופין) שהתנהלה בין אדיסון לטסלה בסוף המאה ה-19.



מנוע חשמלי

(מבנה ועקרון פעולה של מנוע לזרם ישר)

ציר עליו זוג מגנטים (שקוטביהם מסומנים) מותקן בין זוג סלילים. המבקר מזרים בלחיצה על זוג כפתורים זרם דרך הסלילים היוצר שדה מגנטי הגורם לתנועת הציר. כל לחצן מזרים זרם בכיוון הפוך (ניתן לראות בעזרת מד זרם את כיוון הזרם) ההופך גם את כיוון השדה המגנטי. מטרת המבקר היא ללחוץ על הלחצנים בקצב ותיזמון מתאים כך שהציר יסתובב באופן אחיד ורצוף לאותו הכיוון. המוצג ממחיש את הקשר שבין זרם חשמלי לשדה ולכח מגנטי ואת עקרון פעולת מנוע לזרם ישר מבוסס סליל קבוע ומגנט מסתובב. במוצג דומה המותקן ליד יכול המבקר בלחיצת כפתור להזרים זרם חילופין דרך הסלילים ולראות את התנועה הרציפה של הציר.



טבעת קופצת

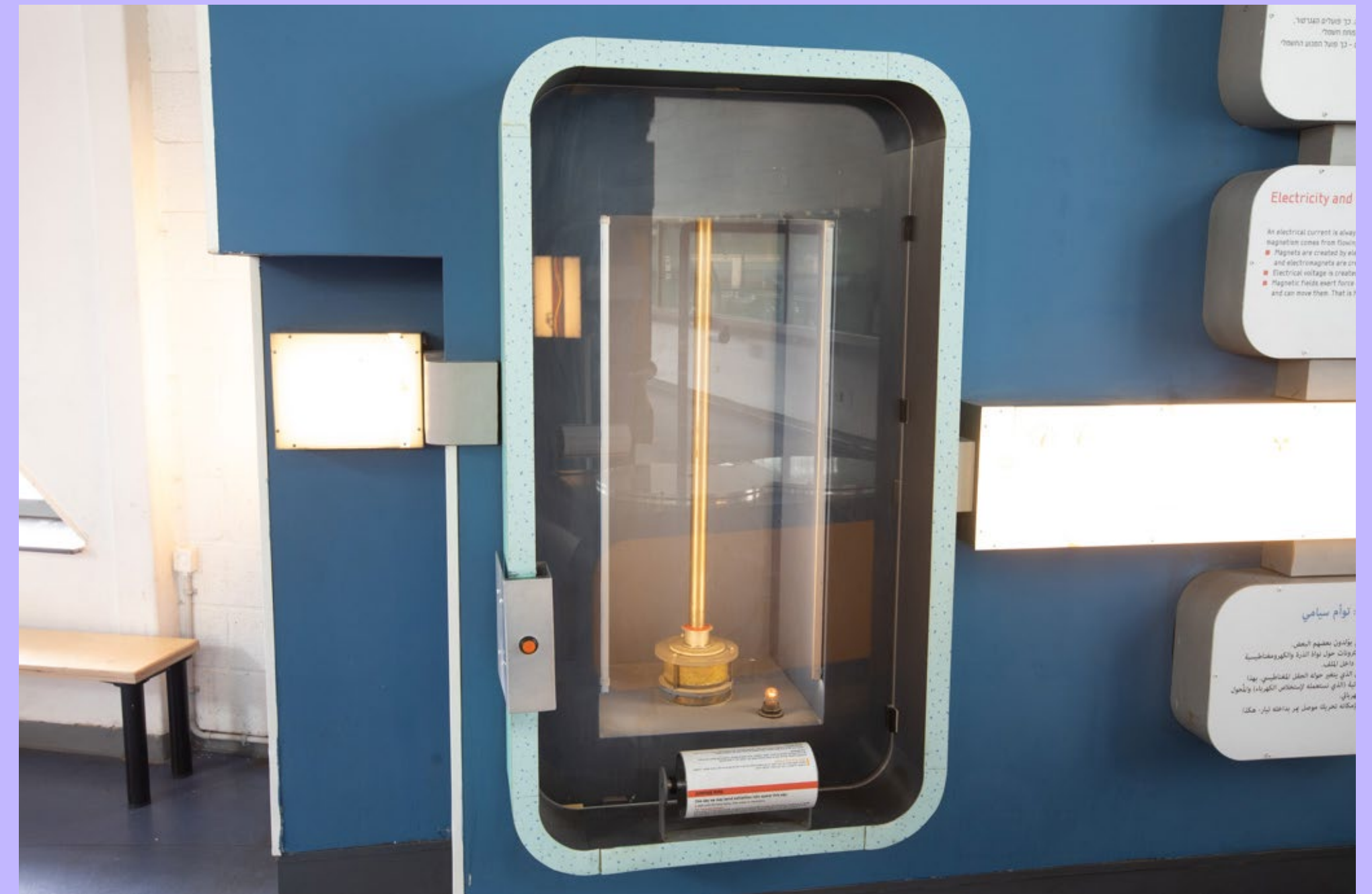
(זרמי מערבולת והכוח שהם יוצרים)

מוט מתכת מותקן על גבי סליל גדול ועליו מושחלת טבעת אלומיניום כך שהיא מונחת על הסליל.

בנק קבלים נטען תוך כמה עשרות שניות למתח של כ־400 וולט (נורית ניאון מסמנת למבקר את סיום הטעינה).

המבקר בלחיצת כפתור מחבר את הדקי הקבלים הטעונים לסליל והם מזרימים דרכו פולס קצר (הנמשך חלקיק שניה) של זרם בעצמה גבוהה של כמה אלפי אמפר. פולס הזרם יוצר בטבעת האלומיניום זרמי מערבולת חזקים הגורמים לה לקפוץ בכח כלפי מעלה עד קצה המוט.

המוצג ממחיש את מושג זרם המערבולת הנוצר בחומר מוליך כתוצאה משינוי בשטף המגנטי העובר דרכו. זרם זה יוצר תמיד שדה מגנטי המתנגד לשינוי וכתוצאה מכך הכח שנוצר בינו ובין השדה המקורי הוא כח דחיה.



עולה ונופל – אלקטרומגנט

(שימוש בזרם חשמלי להרמת חפצים)

אלקטרומגנט גדול הבנוי מגרעין ברזל בצורת פרסה עליו מלופפים זוג סלילים תלוי על כננת חשמלית מעל אוסף שרשראות וחוליות ברזל כבדות.

המבקר בלחיצה על דוושה המותקנת ליד המוצג מפעיל את האלקטרומגנט המושך אליו את חלקי השרשרת והחוליות ואת הכננת המעלה אותו למעלה. שחרור הדוושה גורם להפסקת פעולת האלקטרומגנט ולנפילה (ברעש גדול...) של השרשראות והחוליות. המוצג ממחיש את עקרון פעולת האלקטרומגנט ואת חשיבות השימוש בגרעין ברזל המרכז את השדה המגנטי שיוצרים הסלילים.



טוב מדגלים

הטלגרף – מהפכה בתקשורת

דגם מערכת תקשורת מורס קווית המורכבת ממפתח מורס המדמה את עמדת התחנת השידור, שרשראות נוריות (לדים) הממחישים העברת אותות, ממסרים מכניים המותקנים בין כל כמה עשרות נוריות וממחישים פעולת תחנת ממסר המגבירה את האות וזמזם המותקן בקצה שרשראות הנורות ומדמה את תחנת הקליטה.

המבקר לוחץ על מפתח המורס ויוצר אותות המתקדמים בקצב איטי וברור לעין לאורך שרשראות הנורות. כאשר האות מגיע לתחנת ממסר הוא מפעיל אותה והיא מעבירה אותו לשרשרת הבאה. בסוף המסלול מגיע האות לזמזם המשמיע את הקוד שהוקלד.

המוצג ממחיש את השימוש בזרם חשמלי להעברת הודעות (שהיה השימוש המסחרי הראשון בזרם חשמלי), ואת רשת הטלגרף שהותקנה באירופה ובארצות הברית והייתה הבסיס גם למהפכת התקשורת וגם לשימוש בחשמל בכלל. שני תהליכים תעשייתיים\חברתיים הנמשכים עד היום.



חשמל בגופנו ובבעלי חיים

גם בגופנו משתמשים בחשמל, אך רק להעברת מידע.

החושנים שלנו "מדברים" עם המוח באמצעות אותות חשמליים. אותות דומים עוברים בתוך המוח עצמו ומועברים דרך סיבי העצבים לשרירים, והשרירים משתמשים בזרמים חשמליים כדי להפעיל את עצמם.

קיימים דגים המשתמשים בחשמל לשם תקשורת או לניווט, ואילו אחרים יוצרים חשמל בכמות היכולה להמם את טרפם.



גופנו כאנטנה

(על שדות אלקטרומגנטיים באוויר סביבנו)

כיפה מחומר שקוף מבודד עליה מותקנות נקודות מתכת המחברות למגבר שמע ולרמקול ולנורית חזקה.

כאשר מניח המבקר את ידו על הכדור ונוגע בנקודות המתכת הוא מעביר אליהן את האותות החשמליים שגופו קולט מהסביבה (בעיקר בתדר 50 הרץ של רשת החשמל). המגבר מגביר אותות אלו כך שניתן לשמוע אותן ברמקול ולראות את הנורית מהבהבת. המוצג ממחיש את העובדה שאנו מוקפים בשדות חשמליים ומגנטיים שאיננו מודעים לקיומם ושאינו לנו כמעט כל דרך לחוש בהם. שדות המגיעים כמעט מכל מכשיר חשמלי הנמצא סביבנו ובפרט כאלו המחברים לרשת החשמל. אך אותם שדות יכולים להפוך בתוך מוליך מתאים המשמש כאנטנה (ולצורך העניין גם גופנו יכול לעשות זאת) למתחים וזרמים חשמליים. בדיוק כפי שאנטנות מקלט הרדיו, הטלוויזיה והטלפונים הסלולאריים משמשות לקליטת שידורים.



אזעקת דג

(שימוש באותות חשמליים על ידי בעלי חיים וניצולם ליישומים טכנולוגיים)

אקווריום ובתוכו דג פיל היוצר אותות חשמליים. על הדפנות הפנימיות של האקווריום מותקנים מוליכי מתכת המשמשים כאנטנות לקליטת אותות אלו. מגבר שמע מגביר אותן ומפעיל רמקול המאפשר למבקר לשמוע את האותות בצורת נקישות ולראות אותן בצורת הבהובים בקצב של 5-10 הבהובים\נקישות לשניה.

דגים אלו שימשו את חברת מקורות לגילוי זיהום במקורות מים.

המוצג ממחיש למבקר יצירה ושימוש באותות חשמליים אצל בעלי חיים (דג הפיל משתמש באותות אלו לתקשורת) וכיצד ניתן לנצל אותן ליישומים טכנולוגיים.



חוויה מחשמלת

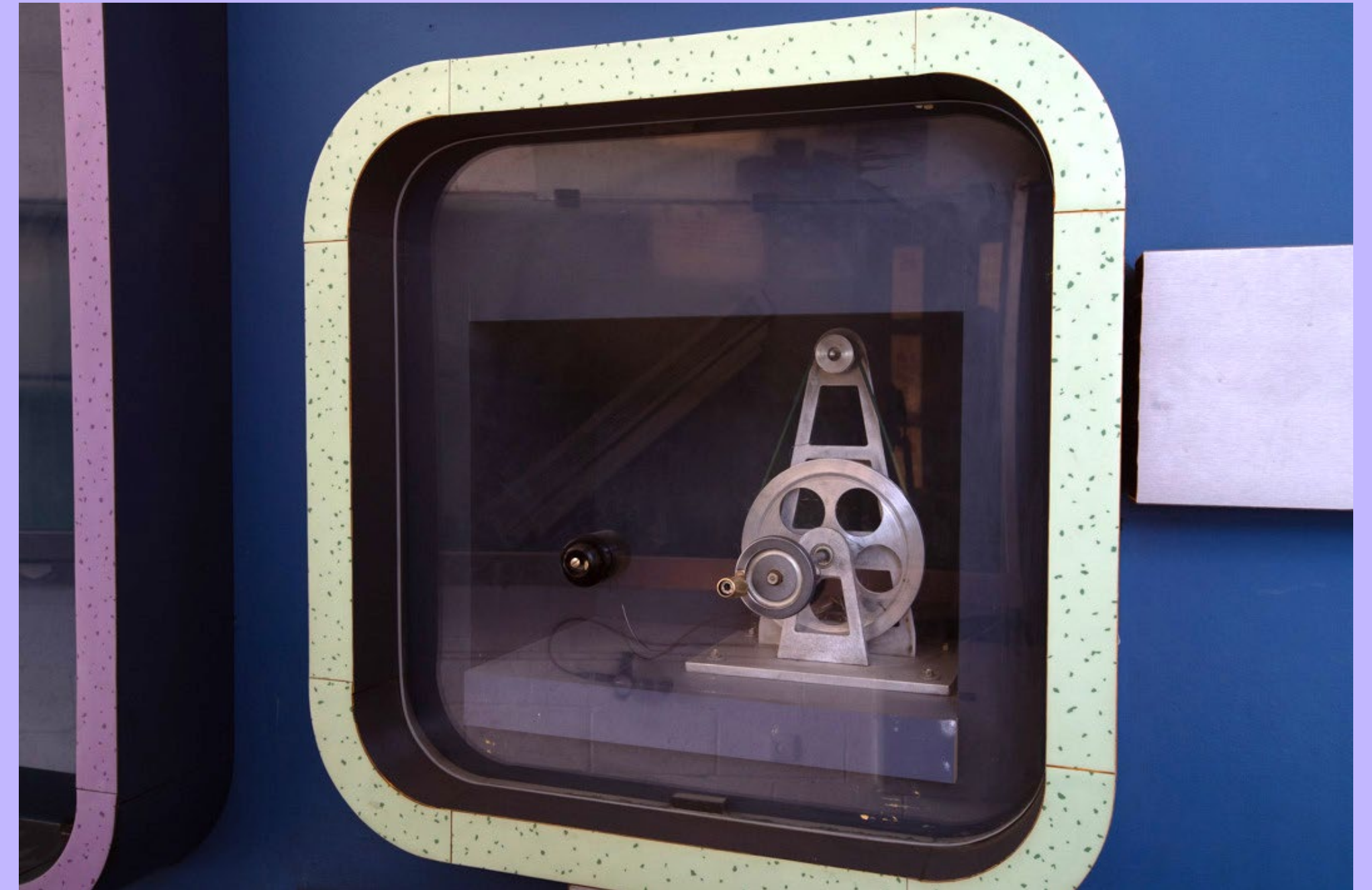
(המחשת הקשר שבין פעולת מערכת העצבים לאותות חשמליים)

זוג מגעים חשמליים קרובים (במרחק של כמה מ"מ זה מזה) מחוברים למחולל מתח.

המבקר מניח את אצבעו על זוג המגעים, מסובב את ידיה המחולל ויוצר מתח הגורם להתחשמלות קלה (זרם של כמה אלפיות האמפר). שינוי מהירות הסיבוב של המחולל משנה את המתח והזרם הזורם דרך האצבע ואת עצמת התחושה.

המוצג ממחיש את הקשר שבין פעולת מערכת העצבים המבוססת על יצירת והעברת אותות חשמליים לאורכה מהחיישנים המעבירים מידע למח ובכיוון הפוח מהמח לשרירים.

הזרם במוצג מוגבל ואינו מסוכן והמרחק הקטן שבין המגעים מבטיח שגם זרם זה יעבור רק דרך האצבע לא יגיע לאזורים אחרים בגוף.

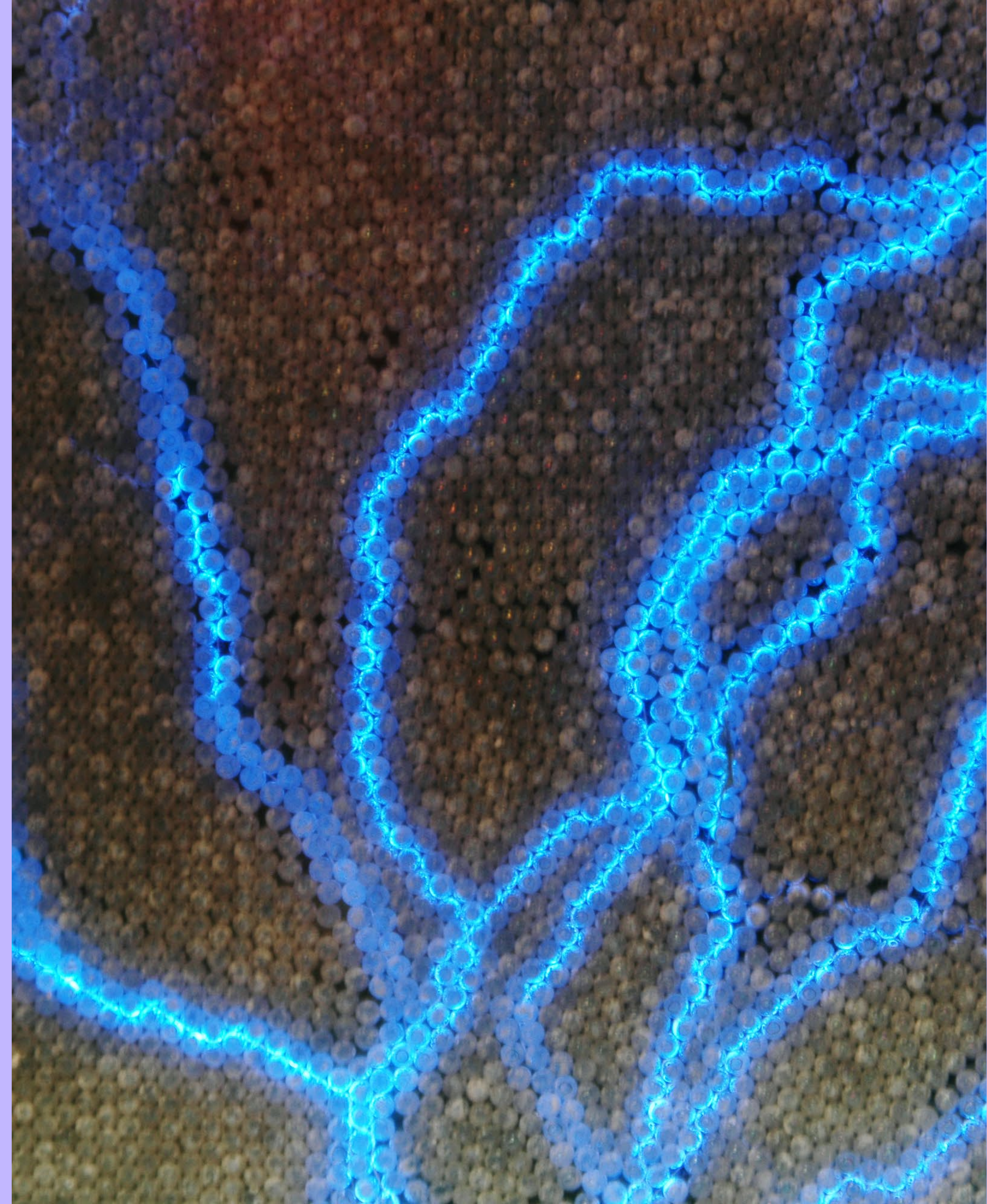


פירוק, הוספה וגריעה (כימיה וחשמל)

החשמל יכול לפרק מולקולות, "לקלף" אטומים ממשטחים או להוסיף אותם.

כאשר מזרימים זרם חשמלי דרך מים (H_2O) הם מתפרקים למימן וחמצן – תהליך הנקרא "אלקטרוליזה".

בתהליך דומה, המכונה "ציפוי חשמלי", מעביר הזרם החשמלי אטומים של מתכת מהתמיסה ומצפה בה מתכת אחרת. כך ניתן למשל לקבל ציפוי זהב על מתכת זולה יותר.



ידי חשמל

חשמל זורם בכפות ידיך (עקרון פעולת סוללה)

סדרה של דסקיות מתכת בקוטר של כ-25 ס"מ העשויות ממתכות שונות (כסף, נחושת, אבץ) מחוברות למד זרם.

המבקר מניח את ידיו על זוג דסקיות שונות ורואה כיצד נוצר זרם חשמלי רק כאשר הדסקיות עשויות מחומרים שונים וכיצד משתנה עצמת וכיוון הזרם בהתאם לחומרים. בנוסף, כאשר ידי המבקר מזיעות או רטובות עצמת הזרם גדלה משמעותית לעומת ידיים יבשות.

המוצג ממחיש את עקרון הפעולה של סוללה, המבוסס על פוטנציאל אלקטרוכימי של מתכות (השונה ממתכת למתכת) ואת הפרש הפוטנציאל והמתח הנוצר בין שתי מתכות שונות כאשר יש ביניהן אלקטרוליט (חומר היכול להתפרק ליונים חיוביים ושיליים, כולל הנוזלים המרכיבים את גוף האדם).



חשמל במים

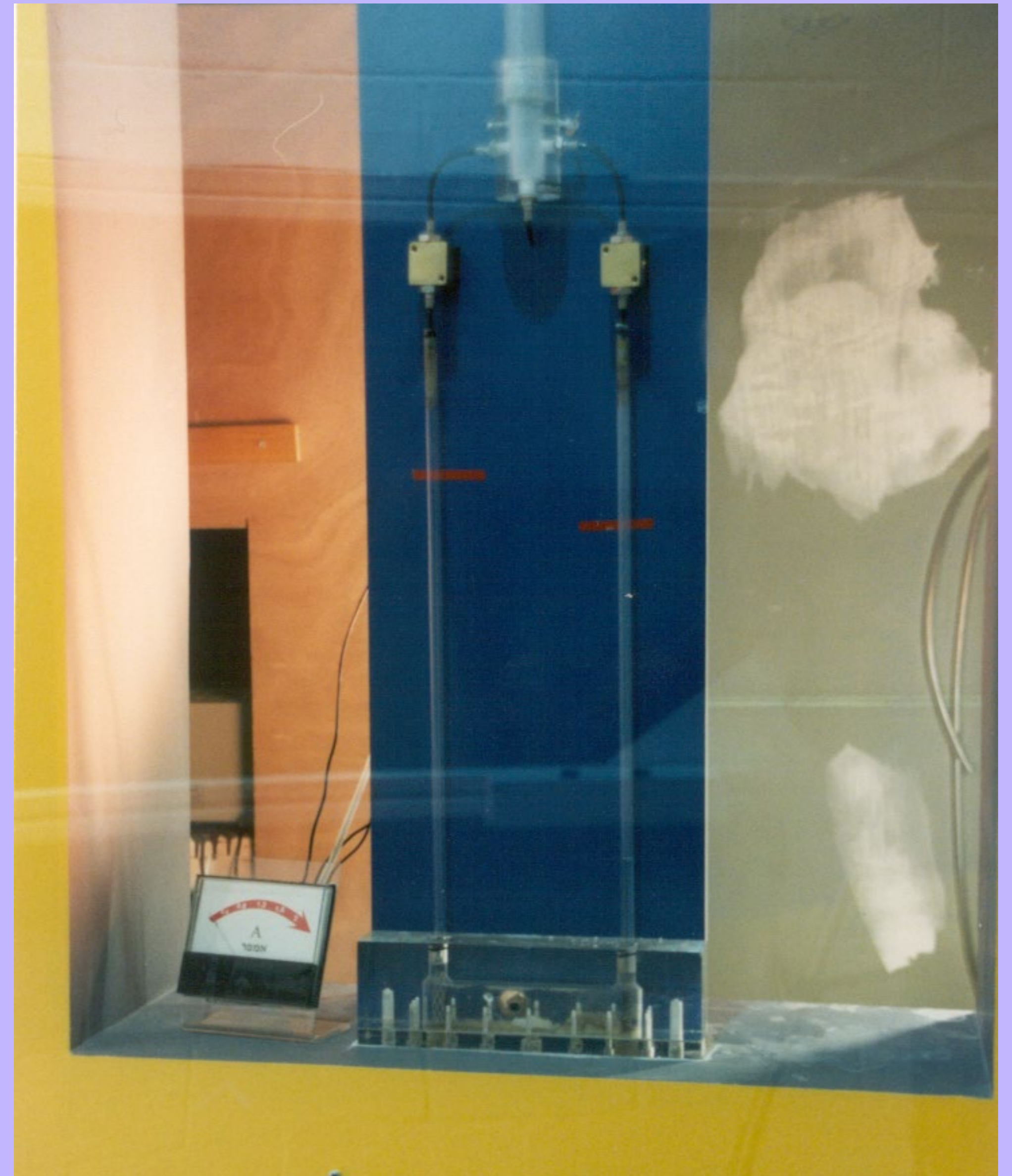
פירוק מים למימן וחמצן והרכבתם חזרה

מיכל המכיל תמיסה מימית בסיס חלש (סודה לשתיה – סודיום ביקרבונט NaHCO_3) ובתוכו זוג אלקטרודות טיטניום שמעל כל אחת קולונת זכוכית שבקצה ברז חשמלי. מעל הברזים נמצא חלל פיצוץ סגור לתוכו מותקן מצת ועליו מונח כדור פינג פונג.

המבקר מחבר בלחיצת כפתור את זוג האלקטרודות לספק מתח ישר, הזרם הזורם דרך התמיסה מפרק את המים לחמצן ומימן המצטברים בקולונות והוא רואה מתוך ירידת מפלס הנוזל בקולונות את היחס שבין המימן לחמצן שנוצר (2:1). לאחר כמה עשרות שניות (כאשר מצטברים כמה סמ"ק גז מכל סוג) נפתחים הברזים החשמליים, הגזים עולים לתא הפיצוץ. ניצוץ חשמלי מהמצת מצית את התערובות המתלקחת מתפוצצת בלהבה וברעש גדולים ומעיפה את כדור הפינג פונג כלפי מעלה.

המוצג מדגים את האפשרות להשתמש באנרגיה חשמלית לפירוק מים לגזים המרכיבים אותם וכיצד אותה אנרגיה שהושקעה בפירוק חוזרת בצורת אור קול ותנועה מכנית כאשר הגזים מתרכבים חזרה.

מוצג זה פותח בסיוע חברת סיינס דמו".



חשמל סטטי ושימושיו

כבר לפני מאות שנים היה ידוע כי חיכוך אבן ענבר ("אלקטרון" ביונית) בצמר גורם לה למשוך חפצים קטנים וליצור ניצוצות.

החיכוך גורם לאלקטרונים לעבור מחומר לחומר וכך נטענים שניהם במטענים חשמליים. מטענים אלו מכונים "חשמל סטטי" משום שהם קבועים בחומר ואינם זורמים.

בימינו משתמשים בחשמל סטטי במכונות צילום ובמדפסות לייזר, כדי למשוך חלקיקי דיו אל תוף ההדפסה.



עד ששערותיכם יסמרו!

יצירת חשמל והמחשת תופעות הקשורות בו

ארבע מתקני\מכונות ווימשרסט ליצירת חשמל סטטי המדגימות כל אחת תופעה אחרת הקשורה באגירת מטענים חשמליים.

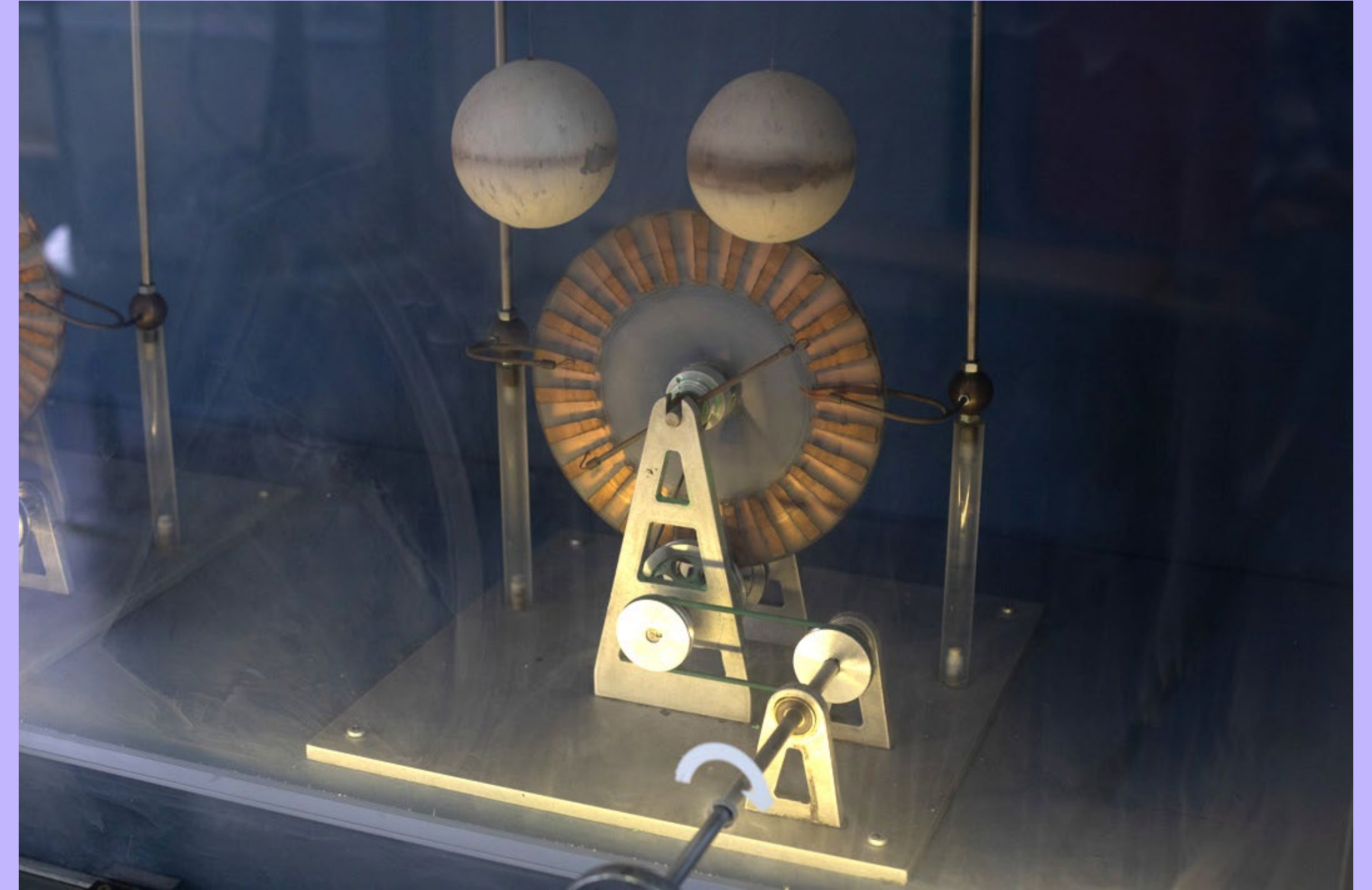
כל מכשיר בנוי מזוג דסקיות אקריל שקופות עליהן מודבקות סדרת מדבקות נחושת ומולן ארבע מברשות סיבי נחושת עדינות. המבקר מסובב בעזרת ידית ותמסורת רצועה את שתי הדסקיות בכיוונים מנוגדים והמברשות אוספות את המטענים החשמליים המושרים בין מדבקות הנחושת. מטענים אלו מצטברים בכדורי מתכת הנטענים למתח גבוה של כמה אלפי וולט ובקוטביות מנוגדת (כדור אחד נטען במטענים חיוביים והשני בשליליים).

ארבעת המוצגים ממחישים כיצד ניתן לאגור מטענים חשמליים (חשמל סטטי), מה התופעות הקשורות בו וכיצד ניתן להשתמש בהן.



אולי זו אהבה חשמל סטטי מושך..

זוג כדורים פלסטיים קלים המצופים בשכבה דקה של חומר מוליך (צבע גרפיט) תלויים בעזרת זוג חוטים מוליכים מכדורי המתכת הטעונים. כאשר מפעילים את מכשיר הווימשרסט (מסובבים את הידית) המטענים המנוגדים המועברים לכדורים התלויים גורמים להם להימשך זה לזה.



טוב ממסרק

על כדורי המתכת מודבקות רצועות דקות של ניר אלומיניום בצורת שערות. כאשר מסובב המבקר את הידית וטוען את הכדורים, המטענים עוברים אל הרצועות וכח הדחיה ביניהן (מטענים זהים דוחים זה את זה) גורם להם להזדקר ולהתרחק לצדדים בדומה לשערות סומרות.



ניצוץ

חשמל קופץ

זוג כדורי מתכת קטנים מחובר בעזרת זרועות מתכת לכדורים הגדולים והם מותקנים במרחק של כמה מ"מ זה מזה. בנוסף, זוג קבלים מחובר אל הכדורים כך שניתן לטעון אותם בכמות גדולה יותר של מטען. כאשר מסובב המבקר את הידית מספיק זמן המטען הנאגר משתחרר בצורת ניצוץ בין הכדורים. בדומה לברק הנוצר כתוצאה מהתפרקות מטענים חשמליים הנאגרים בעננים.



ממטרת החשמל

חשמל בורח מ"שפיצים"

על כל כדור מתכת מותקנת "שבשבת" מתכתית קלה העשויה מניר אלומיניום בעלת קצוות חדים ודקים. כאשר מסובב המבקר את הידית וטוען את הכדורים המטענים החשמליים עוברים לשבשבות, מתרחקים זה מזה, מגיעים לקצוות הדקים ומשתחררים בצורת ניצוצות זעירים בלתי נראים לעין. אך אותם ניצוצות טוענים את האוויר שמול קצות השבשבת במטענים זהים המפעילים כוח דחיה המסובב את השבשבת. ככל שהמבקר מסובב את הידית מהר יותר ויוצר יותר מטענים חשמליים השבשבות מסתובבות מהר יותר. רעיון זה של פריקת מטענים חשמליים דרך קצוות חדים משמש בכליברק המיועד להטות אליו את הברקים כדי שלא יפגעו במבנים סמוכים במסננים אלקטרוסטטיים המשמשים בארובות ובמתקנים ליצירת אוזון.



השמות מאחורי היחידות

פנל גרפי המציין את הרקע וההיסטוריה של כמה מהמדענים\חוקרים ששמותיהם נבחרו לציון יחידות מידה בתחום החשמל.

מתח של וולט אחד מזרים זרם של אמפר אחד דרך התנגדות של אום אחד, ויוצר הספק של וואט אחד. הזרם החשמלי ברשת הביתית הוא זרם חילופים (AC) המשנה את כיוונו בתדירות של 50 הרץ (מחזורים בשניה).

ג'יימס וואט (1736-1819)

המציא את מכונת הקיטור המודרנית בשנת 1790. עד אז, היה צורך לעבוד את הקיטור בתוך גילי המנוע, דבר שגרם להפסדים גדולים של אנרגיה. הוא השתמש במעבה חיצוני ובכך שיפר מאוד את היעילות; מכירות מנועי הקיטור שלו לבתי חרושת ולמכרות עשו אותו אדם עשיר מאוד, ויחידת ההספק נקראה על שמו.

אנדרה מארי אמפר (1775-1836)

הצלחתו המקצועית של אמפר היתה מלווה בטרגדיה אישית: אביו הוצא להורג בגיליוטינה בשנת 1793 ואשתו הצעירה מתה בלדתה עשר שנים לאחר מכן. חוק אמפר טוען כי הכוח המגנטי הפועל בין שני תילים מקבילים שווה למכפלת הזרמים הזורמים בתילים מחולקת בריבוע המרחק ביניהם. על שמו נקראת יחידת הזרם. המוצג ממחיש את האפקט הפיאזו אלקטרי הקיים בגבישים מסוימים שכאשר לוחצים עליהם הם מפיקים מתח חשמלי. מנצלים אפקט זה במיקרופונים, בחישני לחץ ובמציתי גז אלקטרוניים.

הרוזן אלסנדרו וולטה (1745-1827)

המציא את הסוללה בשנת 1799, והשתמש באלקטרודות כסף ואבץ. זה היה מקור המתח האמין הראשון, והוא הוכיח כי רקמות של בעלי חיים אינן נחוצות לצורך יצירת חשמל (כפי שהאמינו קודם לכן).

היינריך רודולף הרץ (1857-1894)

גילה את גלי הרדיו בשנת 1888, תגלית שחשיבותה הטכנולוגית הובנה רק 30 שנה מאוחר יותר והוותה בסיס למהפכת התקשורת. הוא הראה שבגלי רדיו מתרחשות תופעות של החזרה, שבירה, קיטוב ועקיפה בדיוק כמו בגלי אור. בכך הוכיח, כי שני סוגי הגלים הם קרינה אלקטרומגנטית והם נבדלים זה מזה רק בתדירות. יחידת התדירות נקראת על שמו, הרץ (מחזורים בשניה).

ג'ורג' סימון אום (1789-1854)

ניסח בשנת 1827 את "חוק אום", המציג קשר מתמטי בין הזרם במוליך לבין המתח שעליו והתנגדותו החשמלית: $V / R = I$. למרות גילוי זה, ולמרות שהיו לו תגליות נוספות (למשל, הוא הבין כי אנו מסוגלים לשמוע אקורדים של צלילים אבל איננו מסוגלים לראות "אקורדים" של צבעים), לא הוכרה חשיבות פועלו אלא בזקנתו.

לוח זמנים

Timeline

1752	בן פרנקלין מעיף עפיפון בעת סופת רעמים ומגלה כי הברק הוא חשמל
1758	השביט של האליי שב ומופיע
1780	גאלוואני גורם לרגל של צפרדע להתכווץ באמצעות זרם חשמלי
1800	וולטה ממציא את הסוללה
1818	ד"ר אורה מחייה גופות בעזרת חשמל; "פרנקנשטיין" מופיע בדפוס
1820	ארסטד גורם לסטייה של מחט המצפן באמצעות זרם חשמלי
1831	פאראדיי מגלה כי שדה חשמלי משתנה יוצר זרם חשמלי
1834	השביט של האליי שב ומופיע
1838	המצאת השנאי

1839	פיתוח מכונת הצילום האלקטרוסטטית הראשונה
1844	המצאת הטלגרף של מורס
1856	מאקסוול מנסח את משוואות האלקטרומגנטיות
1876	בל ממציא את הטלפון
1878	מרכזיית הטלפונים הראשונה נפתחת בניו־הייבן
1884	תחנת הכוח של אדיסון ברחוב פרל מספקת חשמל ל־500 בתים
1888	טסלה ממציא את מנוע ההשראה
1890	ההוצאה הראשונה להורג בכיסא חשמלי
1894	מוקם בארה"ב בית החרושת הראשון (טחנת כותנה) המופעל כולו בחשמל
1895	מפלי הניאגרה מנוצלים ליצירת חשמל בזרם חילופין; רנטגן מגלה את קרני X
1896	המכירה הידועה הראשונה של מגהץ חשמלי

1897	תומפסון מגלה את האלקטרון; מארקוני עורך ניסויי רדיו מוצלחים ראשונים
1901	פיתוח מכונת הכתיבה החשמלית הראשונה
1904	פיתוח המשיבון האוטומטי הראשון
1906	שידור הרדיו המוצלח הראשון ב־AM; דה פורסט ממציא את שפופרת הריק
1908	נורות הטונגסטן האמינות הראשונות מוצעות למכירה; שיווק שואבי האבק החשמליים המסחריים הראשונים
1909	מיליקן מודד את מטען האלקטרון; פיתוח המצנם החשמלי הראשון
1910	השביט של האליי שב ומופיע
1911	אונס מגלה את העל־מוליכות
1912	שלט הפרסומת הראשון המורכב מנורות ניאון מופיע בפאריס
1913	המקרר החשמלי הראשון מוצע למכירה בשיקגו

1914	הרמזורים החשמליים הראשונים מופיעים בקליבלנד; נפתחת תעלת פנמה המופעלת כולה בחשמל	1941	תחנת הטלוויזיה המסחרית הראשונה	1965	פיינמן ואחרים מקבלים את פרס נובל עבור פיתוח האלקטרודינמיקה הקוונטית; הצגת מכשיר הווידאו הראשון
1920	תחנת הרדיו המסחרית הראשונה KDKA בפיטסברג; פיתוח הריתוך באמצעות קשת חשמלית	1943	הכור הגרעיני הראשון מתחיל לפעול	1966	פיתוח המנוע הראשון המבוסס על על-מוליכות
1927	700 תחנות רדיו מסחריות בארה"ב, 7,500,000 מקלטים	1944	בניית המחשב MARK I המכיל 760,000 חלקים נעים	1972	משחקי הווידאו הראשונים מוצעים למכירה
1930	פיתוח השמיכה החשמלית	1946	בניית המחשב האלקטרוני הראשון (ENIAC) המבוסס על שפופרות ריק	1973	בניית המיקרו-מחשב הראשון מתוצרת APPLE
1932	בניית מיקרוסקופ האלקטרונים הגולמי הראשון	1947	המצאת הטרנזיסטור; פיתוח תנור המיקרוגל הראשון	1979	מערכת הקירור בתחנת הכוח הגרעינית באי מייל מתקלקלת
1933	שידורי הרדיו הראשונים ב-FM	1953	תחנת הכוח האטומית הראשונה מתחילה לפעול; פיתוח רדיו הטרנזיסטור הנייד הראשון	1980	פיתוח הווקמן של סוני
1935	מרבית הערים בארה"ב מחוברות לחשמל	1956	פיתוח פותחן הקופסאות החשמלי הראשון	1981	קוצבי לב ממוחשבים נכנסים לשימוש
1936	המצאת הראדאר; פיתוח הנורות הפלואורסצנטיות	1958	ון אלן מגלה חלקיקים טעונים המקיפים את כדור הארץ	1983	פיתוח תורת הכוח החשמלי החלש
1937	בניית הרדיו-טלסקופ	1959	פיתוח המחשב הנייד הראשון	1986	השביט של האליי שב ומופיע
1938	הצגת מכשיר הטלוויזיה הצבעוני הראשון	1962	הרובוט התעשיית הראשון מוצע למכירה	1987	גילוי העל-מוליכים בטמפרטורות גבוהות
1939	גילוי הביקוע הגרעיני			1991	ניסיונות ראשונים להפקת אנרגיה חשמלית בהיתוך גרעיני בפרויקט JET

1993 חברת ניצ'יה מפתחת לד כחולה בעצמה גבוהה המאפשרת ייצור מנורות לד לבנות המחליפות את נורות הליבון.

1996 מטריצות אקטיביות של לדים אורגניות (AMOLED) מתחילות לשמש במסכי תצוגה.

תחילת שנות ה-2000

- פיתוח מואץ וייצור סדרתי גדול של מכוניות חשמליות והיברידיות המגיעות לטווח נסיעה של מאות קילמטרים ומתחרות במכוניות מנועי השריפה הפנימית.
- פיתוח מואץ, הגדרת תקנים, וייצור סדרתי של מערכות להעברת אנרגיה חשמלית ללא חוטים למגוון יישומים: טעינת טלפונים סלולאריים ומחשבים ניידים, תאורה תת מימית, הפעלת כלי מטבח חשמליים והפעלת כלי רכב חשמליים.

קרדיטים

אוצר התערוכה: ד"ר אמיר בן שלום

עיצוב התערוכה: פרופ' חנן דה לנגה / אלי שפירו

עיצוב גרפי: נועה לזר

פיתוח מוצגים וניהול הפקה: בני נחמני / אורי סיני

בנייה והפקה: צוות בית המלאכה, מוזיאון המדע ע"ש בלומפילד ירושלים

Bloomfield
Science Museum
Jerusalem

متحف العلوم
على اسم بلومفيلد
القدس

מוזיאון המדע
ע"ש בלומפילד
ירושלים

