

**סיכוני חשמל סטטי**  
**במעבדות מחקר ופיתוח**

**איל צדוק**

**מהנדס מומחה לבקרת חשמל סטטי**

**מנתח סיכונים של אוירה דליקה וציוד חשמלי**

**ת.ד. 108, הילה 2495300, טל: 052-3694633**

**eyalzadok100@gmail.com**

**כל הזכויות שמורות**

# סיכוני חשמל סטטי במעבדות מחקר ופיתוח

## מטרות ההרצאה

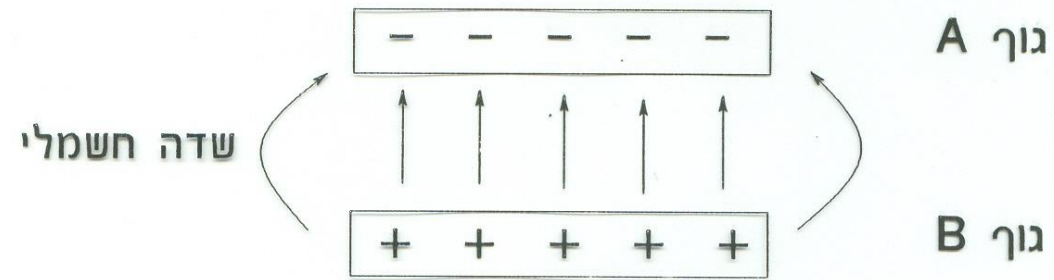
- ◆ להכיר את התופעה הפיסיקלית של החשמל הסטטי.
- ◆ לבחון את גורמי הסיכון המעורבים בה והאופן שבו הם מציתים חומרים דליקים.
- ◆ לזהות את המצבים המסוכנים שהתופעה גורמת, אשר אופייניים במעבדות מחקר ופיתוח, כדי להיזהר מהם.

# סיכוני חשמל סטטי במעבדות מחקר ופיתוח

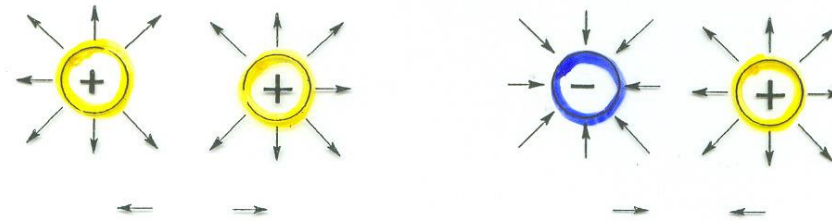
- מהות התופעה – הצטברות מטעני חשמל על ידי חיכוך בין גופים וחומרים.
- גורמי סיכון – גוף האדם, חלקי מתקן וציוד, אביזרים ידניים, חומרי תהליך.
- התרחשות תאונות – הצתת חומר בצובר או בתרחיף ע"י מטען חשמל סטטי.
- מדוע פעילות במעבדות מו"פ רגישה יותר לכשל חשמל סטטי?

# חשמל סטטי - מהות התופעה

הצטברות מקוטבת של מטעני חשמל:



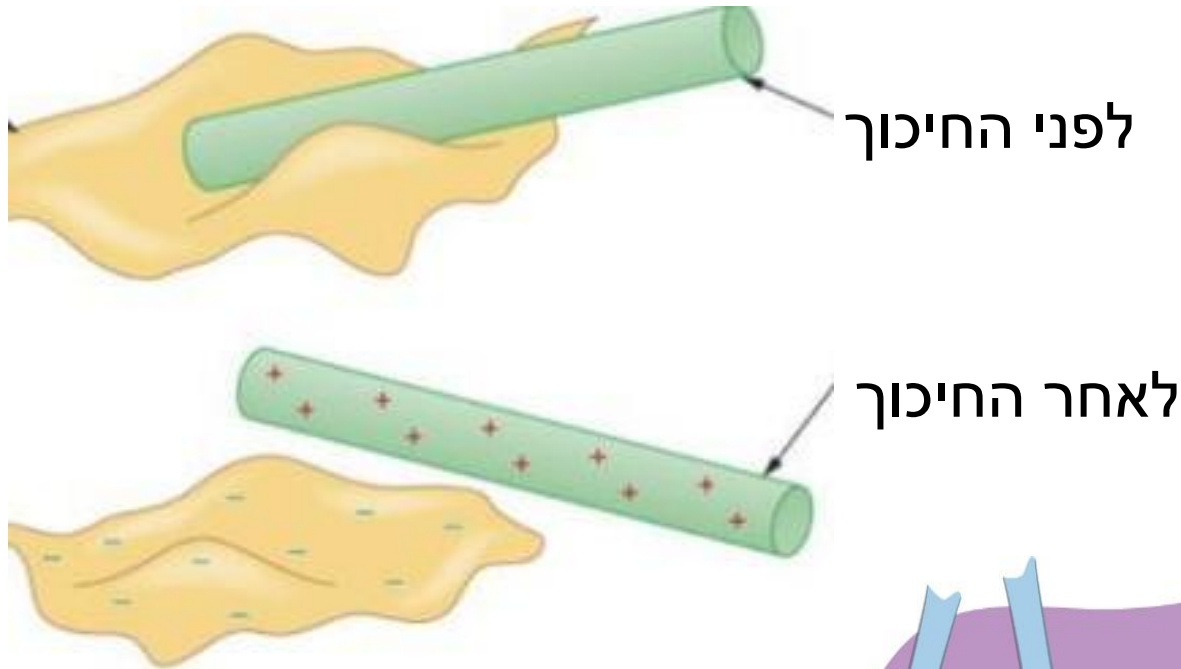
שדה השמלי:



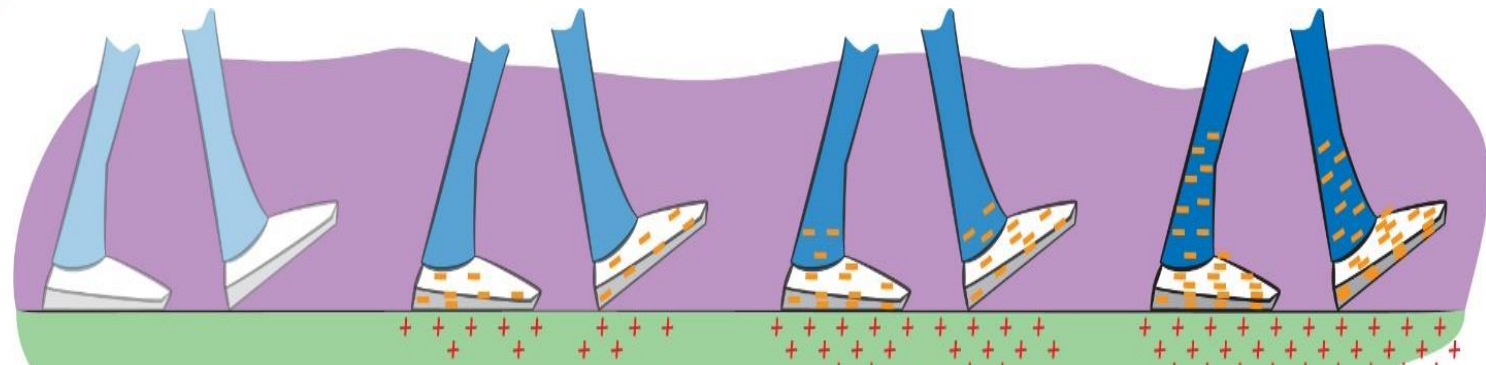
כוחות דחייה

כוחות משיכה

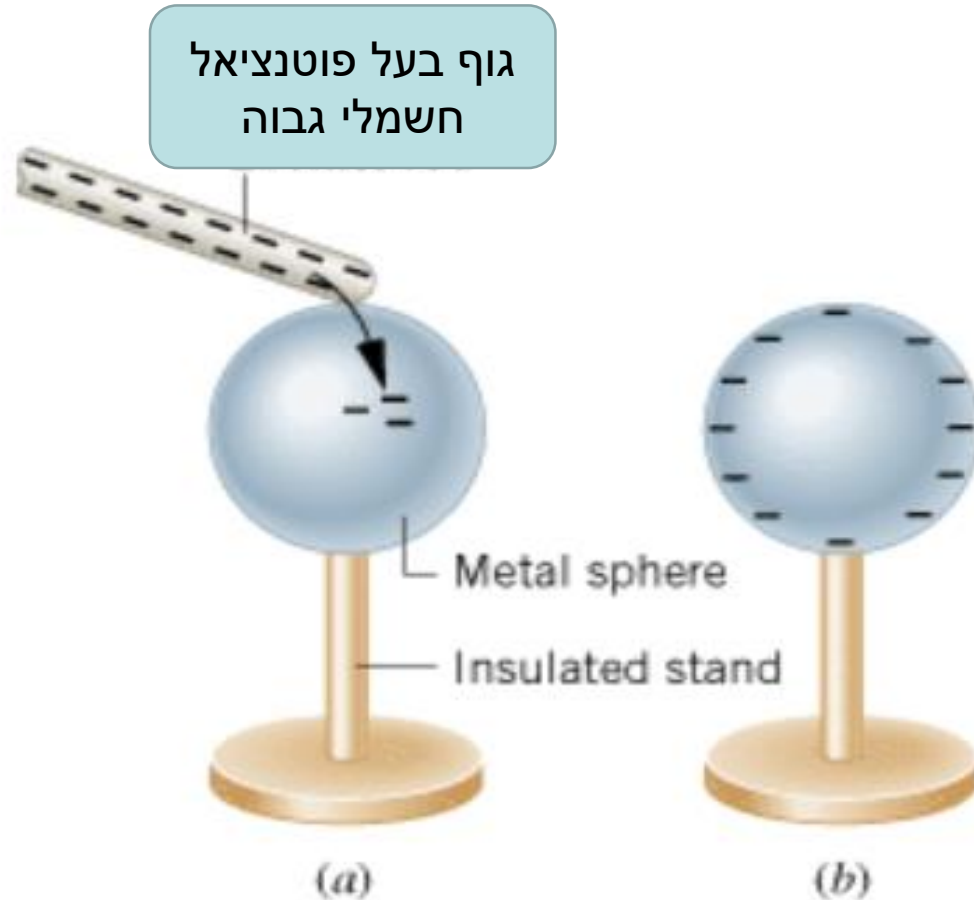
# תופעת החשמל הסטטי - התהליך הטריבואלקטרי



מעבר מטעני חשמל בין שני גופים, באמצעות חיכוך.



# תופעת החשמל הסטטי - טעינה מולכת

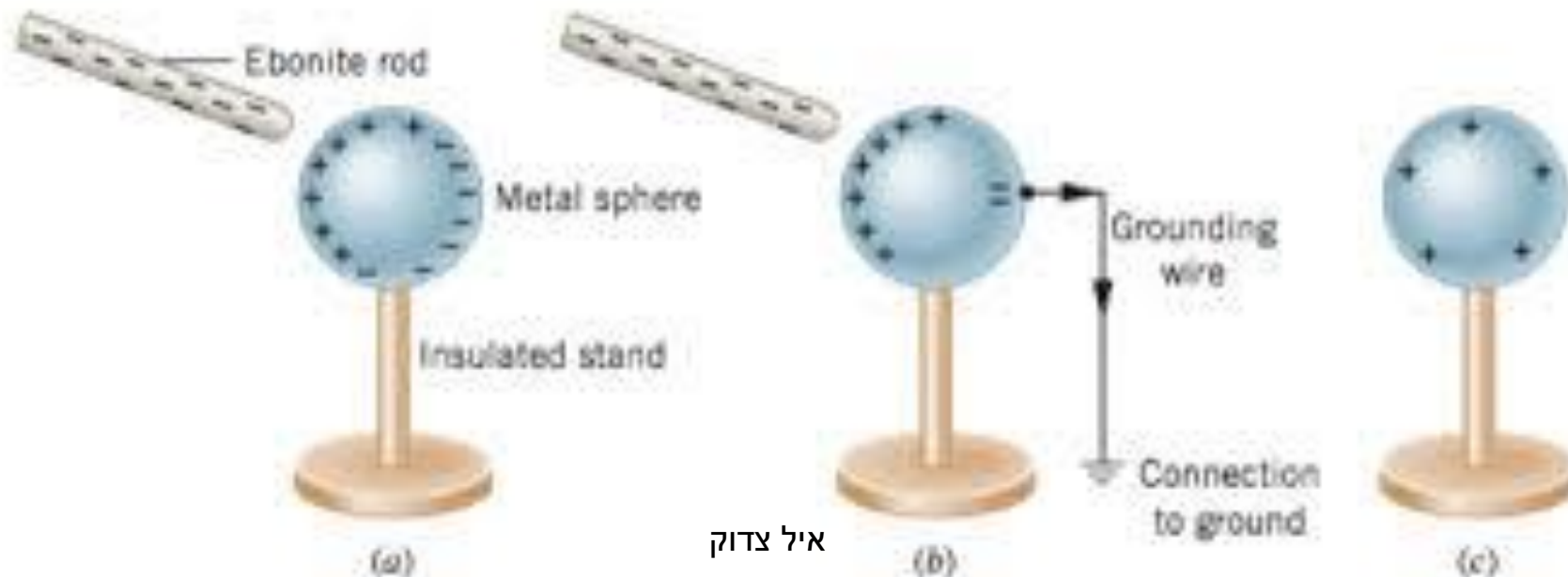


מצב a - טעינת כדור מתכתי בעל פוטנציאל חשמלי נמוך, ע"י מגע עם גוף בעל פוטנציאל חשמלי גבוה יותר.

מצב b – הכדור המתכתי לאחר סיום תהליך הטעינה. הפוטנציאל החשמלי שלו גדל.

# תופעת החשמל הסטטי - השראה

- מצב a - הגוף המשרה את השדה החשמלי והגוף המושרה – קיטוב של מטענים.
- מצב b - כאשר הגוף המושרה יוארק, חלק מהמטען המקוטב יזרום להארקה.
- מצב c - לאחר ניתוק מוליך ההארקה, הגוף המושרה יותר עם מטען חשמלי עודף.



איל צדוק

# תופעת החשמל הסטטי – גורמי סיכון

גוף האדם



קיבול חשמלי ממוצע –  $150 \text{ pF}$   
אנרגיה אלקטרוסטטית נצברת – עד  $50 \text{ mJ}$

פריקה מהאצבע



# תופעת החשמל הסטטי – גורמי סיכון

חלקי מתקן וציוד

קיבול חשמלי בתחום  $10 - 1000 \text{ pF}$

אנרגיה אלקטרוסטטית נצברת – עד  $1000 \text{ mJ}$



פריקה בצנרת

פריקה במחבר מהיר



איל צדוק

# תופעת החשמל הסטטי – גורמי סיכון

## אביזרים ידניים

קיבול חשמלי של מברג/מפתח:  $1 - 10 \text{ pF}$   
אנרגיה אלקטרוסטטית נצברת – עד  $10 \text{ mJ}$



פריקה מפלייר

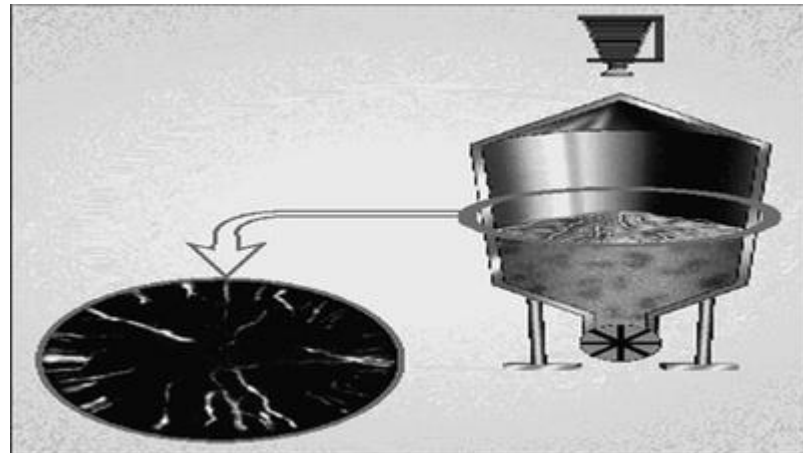
פריקה ממפתח



איל צדוק

# תופעת החשמל הסטטי – גורמי סיכון

פריקה בשאיבת חומר אבקתי



פריקה קונית  
במילוי סילו

חומרי תהליך

פיצוץ במפעל מתנול...



Photo Credit: Cornelius Fire Department via Twitter

# כשל חשמל סטטי – תאונה במעבדה באוניברסיטת קליפורניה, ברקלי, 31.5.2015

גבישי חומר בכלי



## מידע על הפעילות

החומר: 1 gr of diazonium perchlorate crystals

סוג החומר: תרכובת אורגנית, רגישה לחיכוך, נפיצה.

תיאור הפעילות: סטודנט העביר ידנית חומר מכלי אל כלי,

באמצעות ספטולה מתכתית.

תיאור התאונה: התרחש פיצוץ, הסטודנט נפצע בפניו.  
איל צדוק

# כשל חשמל סטטי – תאונה במעבדה באוניברסיטת קליפורניה, ברקלי, 31.5.2015

## כיצד התרחשה התאונה:

- (1) מטען חשמלי הצטבר על גוף הסטודנט, מאחר ולא השתמש בביגוד ונעליים אנטיסטטיים, ורצפת המעבדה לא היתה מחומר אנטיסטטי.
- (2) ספטולת המתכת איפשרה מעבר של המטען החשמלי מגוף הסטודנט אל החומר הדליק.
- (3) התרחשה פריקת חשמל סטטי מסוג "ניצוץ", שגרמה להצתת החומר הדליק.

פריקה מציתה



# כשל חשמל סטטי – תאונה במעבדה באוניברסיטת קליפורניה, ברקלי, 31.5.2015

## במה שגה הסטודנט?

בניגוד לאמור בהוראות הבטיחות של המעבדה:

- (1) השתמש במשקפי ראייה שלו, ללא משקפי מגן.
- (2) לא השתמש במגן חוצץ בפני פיצוץ.
- (3) לא השתמש בספטולה מחומר אל-מתכתי.

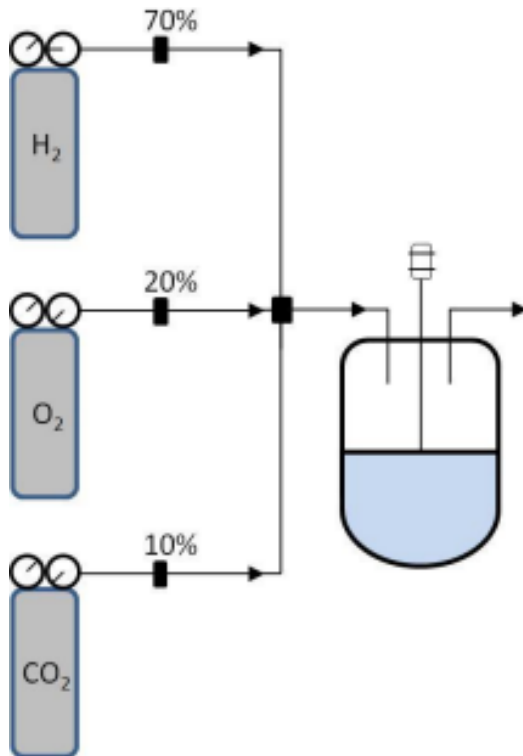
ריסוק עדשת  
המשקפיים



# כשל חשמל סטטי – תאונה במעבדה באוניברסיטת הוואי, מנואה, 16.3.2016

## מידע על הפעילות

סכימת המערכת



החומר: תערובת גזים מימן-חמצן-דו תחמוצת הפחמן.

סוג החומר: תערובת נפיעה.

תיאור הפעילות: סטודנטית ביצעה ניסוי במערכת מתכתית

שכללה 4 מיכלי גזים, צנרת וציוד מדידה.

תיאור התאונה: בעת הפעלת המערכת נגרם פיצוץ,

והסטודנטית נפצע קשה מאוד בגופה. איל צדוק

# כשל חשמל סטטי – תאונה במעבדה באוניברסיטת הוואי, מנואה, 16.3.2016

## כיצד התרחשה התאונה:

- (1) מטען חשמלי הצטבר על גוף הסטודנטית, בגלל שלא השתמשה בביגוד ובנעליים אנטיסטטיים, ורצפת המעבדה לא היתה מחומר אנטיסטטי.
- (2) התהליך במכל התערובת יצר אוירה דליקה.
- (3) פריקת חשמל סטטי מסוג "ניצוץ", התרחשה בין אצבעות הסטודנטית ללחצן בצידו המדידה, חדרה מהציוד לתוך המכל וגרמה להצתת האוירה הדליקה.

מכל התערובת





# כשל חשמל סטטי – תאונה במעבדה באוניברסיטת הוואי, מנואה, 16.3.2016

ההרס במעבדה לאחר הפיצוץ



## מהן השגיאות שגרמו לתאונה?

- (1) נעשה שימוש במכל שכבר התרחשה בו תקלה, בניגוד להמלצה של החוקר האחראי של המעבדה.
- (2) במכל התערובת הותקן מד לחץ דיגיטלי אשר לא היה מסוג המיועד לשימוש באוירה דליקה.
- (3) החלקים המתכתיים של המערכת לא הוארקו.
- (4) לא נעשה שימוש בציוד אנטיסטטי, הן ע"י הסטודנטית והן בתשתיות הקבועות של המעבדה.

# סיכוני חשמל סטטי במעבדות מחקר ופיתוח

## מדוע פעילות במעבדות מו"פ רגישה יותר לכשל חשמל סטטי?

- הפעילות הינה ניסויים ובדיקות שנערכים בפרקי זמן קצרים ומוחלפים.
- מערך הניסויים משלב אביזרים רבים, המורכבים לרוב באופן זמני.
- שימוש חשוף בחומרים (גז/נוזל/מוצק) בעלי אנרגית הצתה קטנה מאוד.
- תיכנון ניסויים מבלי לערוך בהם ניתוח מקדים של סיכוני חשמל סטטי.
- הכנסת שינויים במערכי ניסוי מבלי לבחון את השפעתם על סיכון ההצתה.

# לסיכום: מי עובד כאן יותר בטוח...?

