

**סיכוני פריקה אלקרוסטטית
<פא"ם>**

ברכיבים נפיצים, הודפים ופירוטכניקה

מרצה: משה נצר

הנדסת תאימות ובטיחות בע"מ

netzerm@netvision.net.il

מדתיות ושכל ישר (מתוך קצרים)



**“If you see a bomb,
technician running, try to
keep up with him...”**

-- U.S.A. Ammo Troop

**אם אתה רואה פצצה וטכנאי רץ מהמקום,
תשתדל שלא לפגר מאחור...
חיל החימוש של צבא ארה"ב וגם מהסרט "כל הפחדים כולם"**

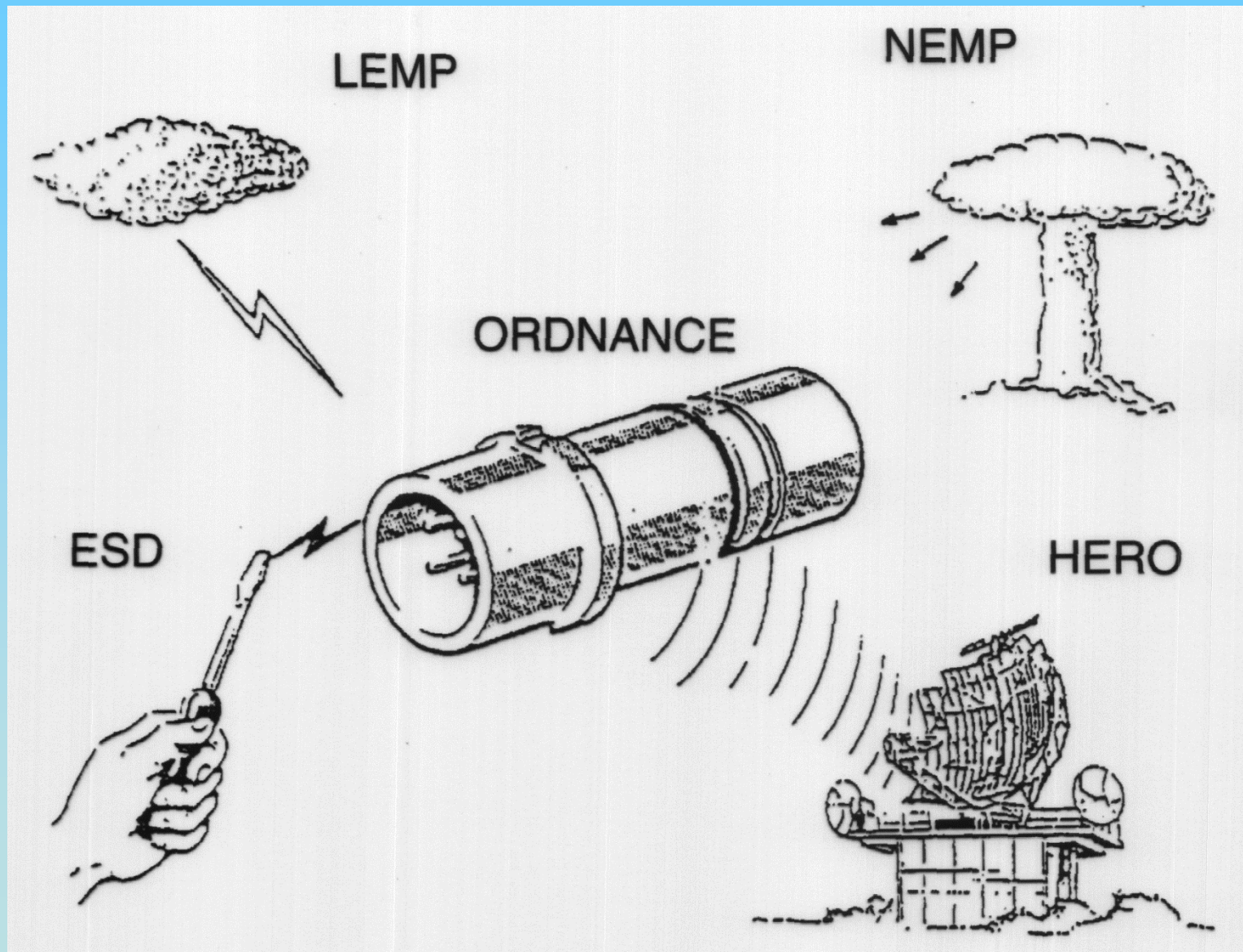
איומים, מנגנון צימוד וסכנות

j קרינה אלקטרומגנטית טבעית ומעשה ידי אדם
j הפרעות מולכות (צימוד קיבולי, השראותי ומולך)
j פריקה אלקטרוסטטית וברקים

j צימוד דיפרנציאלי (הפרעה בין פין לפין)
j צימוד באופן משותף (הפרעה בין גשר לגוף)

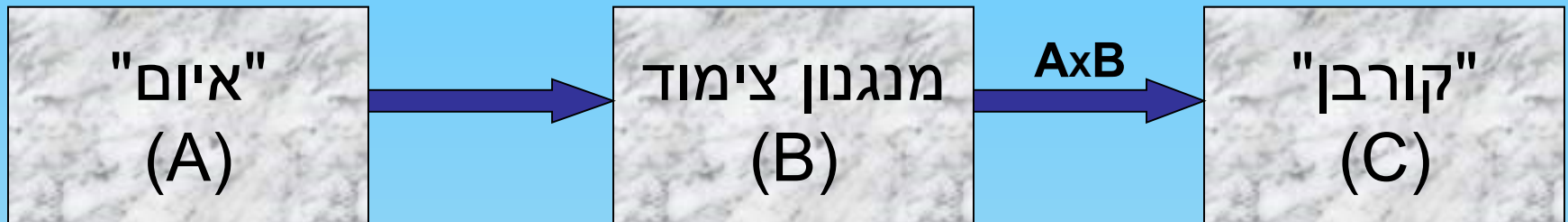
j יזום בלתי מתוכנן
j עיקור הרכיב
j שינוי התכונות החשמליות (יותר רגיש/יותר אדיש)

איומים אלקטרומגנטיים על מערכות חימוש



הגדרה אנליטית של תאימות אלמ"ג

$$0 < B < 1$$



$$EMC = A \times B < C/M$$

שולי בטחון לאמינות ולבטיחות

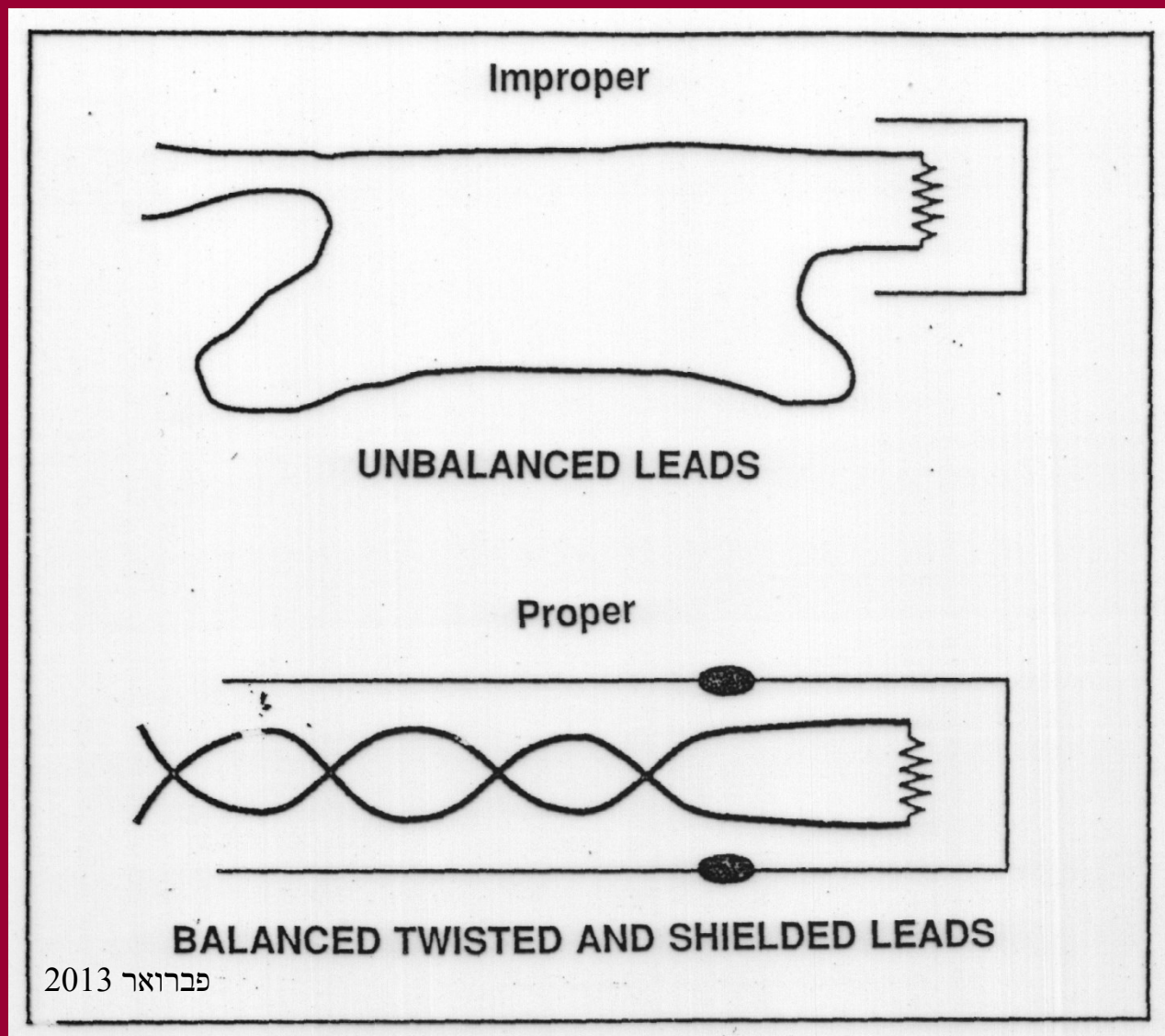
$$A \times B < C/M$$

כאשר $M =$ שולי בטחון

שולי בטחון לבטיחות: 16.5 dB

שולי בטחון לאמינות: 6dB

חוט מאוזן ובלתי מאומטרית וחשמלית



סוגים של פריקה אלקטרוסטטית

• *Spark Discharge* (פריקת ניצוץ או פריקת קשת)

• *Propagating Brush Discharge* (פריקת מברשת מתגלגלת)

• *Brush Discharge* (פריקת מברשת)

• *Bulk Discharge* (פריקת קונוס)

• *Corona Discharge* (פריקת "כתר" או האש של סנט אלמוס)

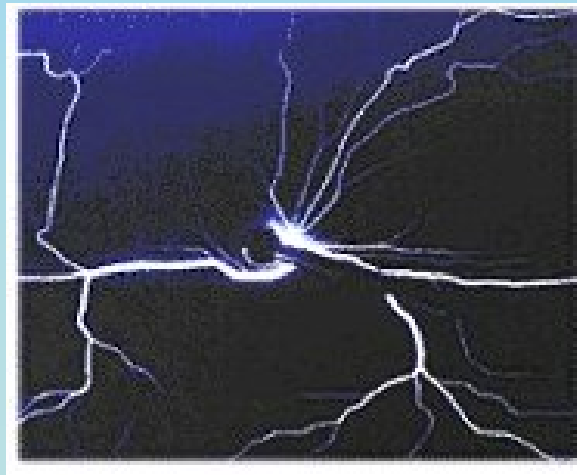
• *Lightning-Like Discharge* (פריקה דמוית ברק)

פריקה אלקטרוסטטית

- פריקת ניצוץ או קשת



- פריקת מברשת מתגלגלת



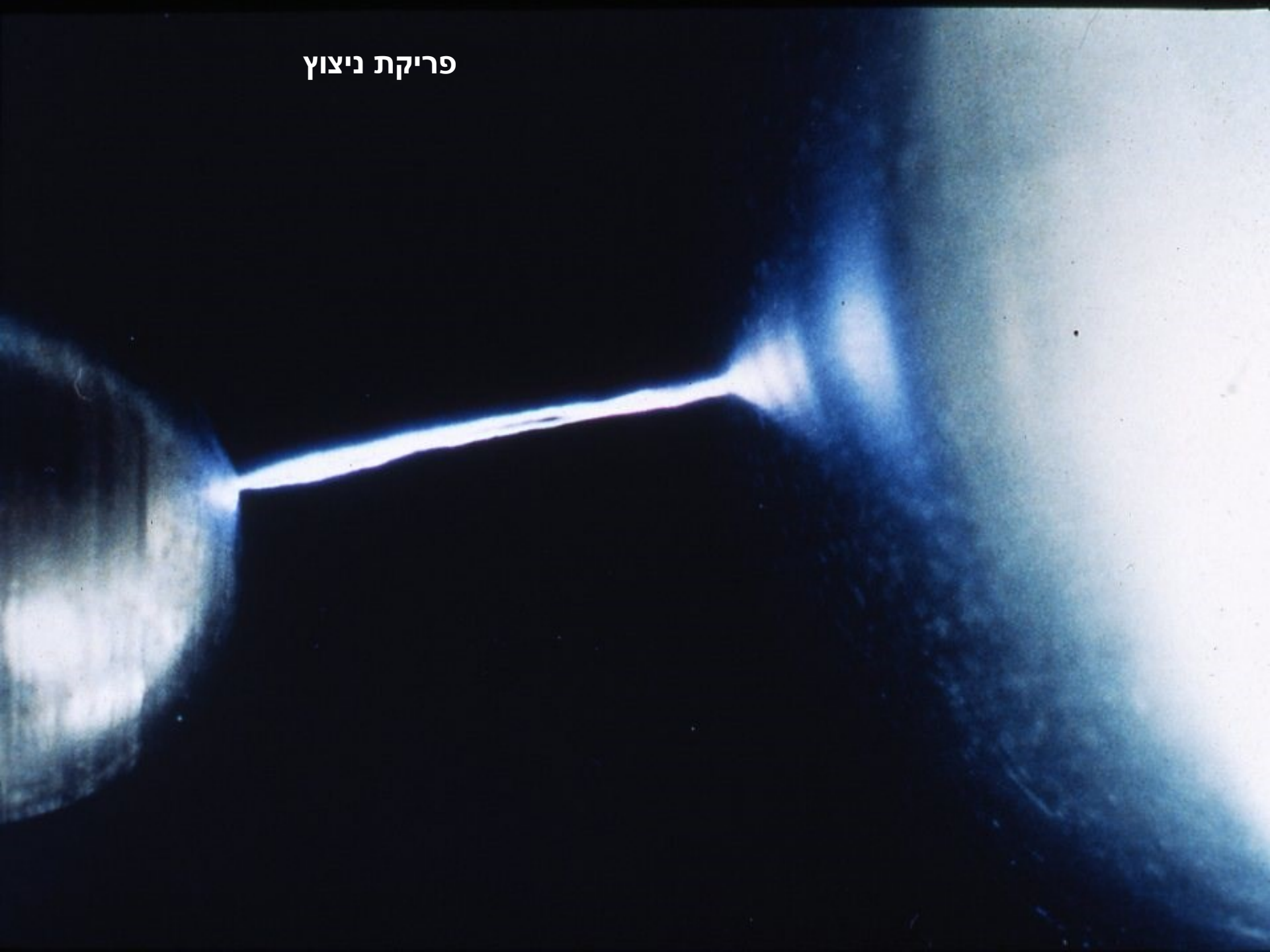


Static Discharge – Lightning Like

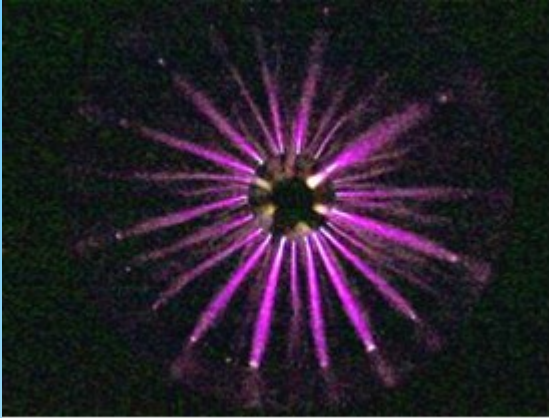
Volcano ESD •



פריקת ניצוץ



- פריקת כתר (קורונה, האש של סנט אלמוס)

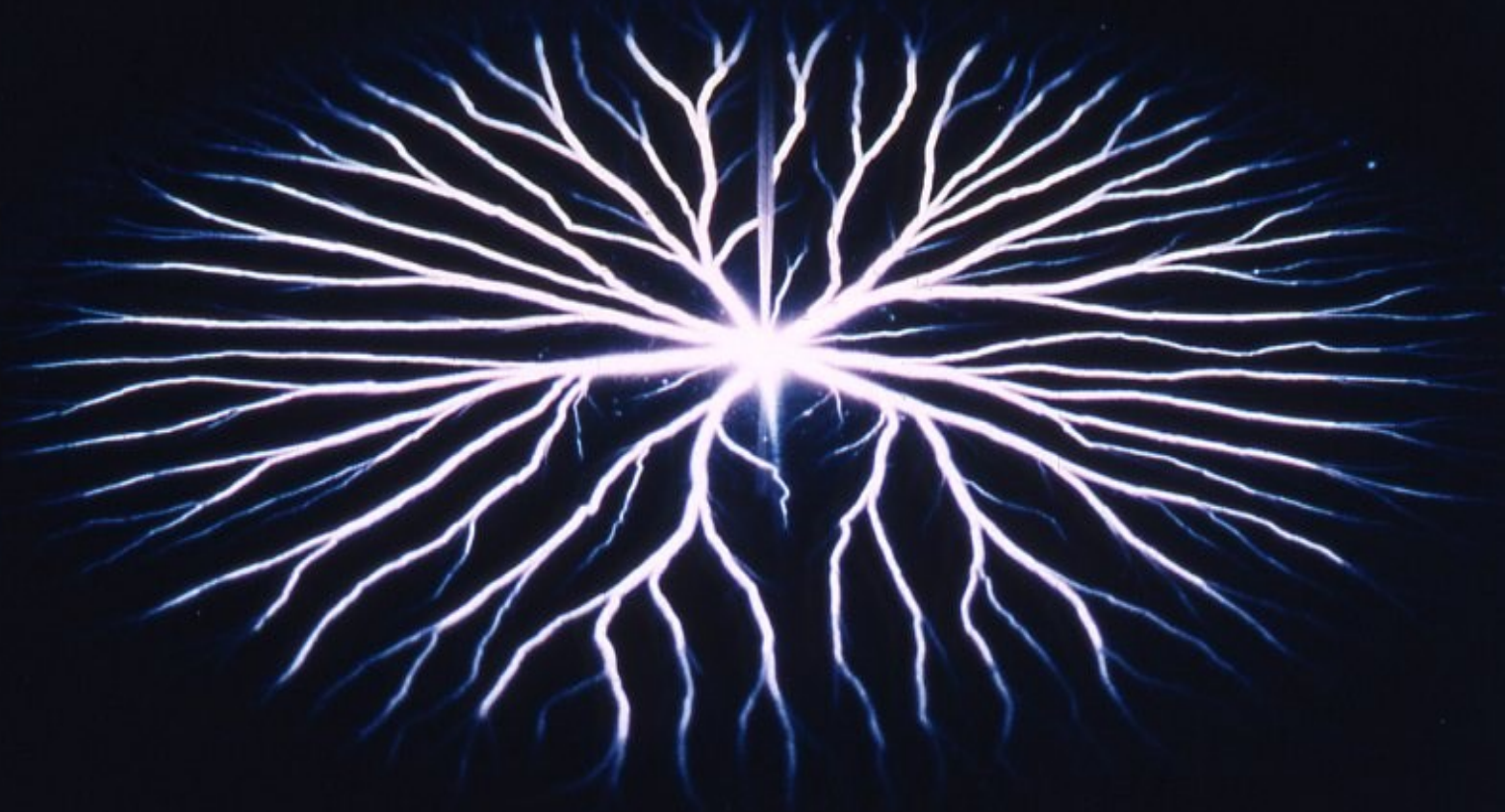


- פריקת מברשת



6 MAI 1937. NEW JERSEY. VENANT D'EUROPE AVEC 97 PERSONNES À BORD, LE DIRIGEABLE HINDENBURG EXPLOSE ET S'ÉCRASE TUANT 36 AUTRES PERSONNES AU SOL.

פריקת מברשת



פריקת מברשת בצינור גמיש

• נתונים

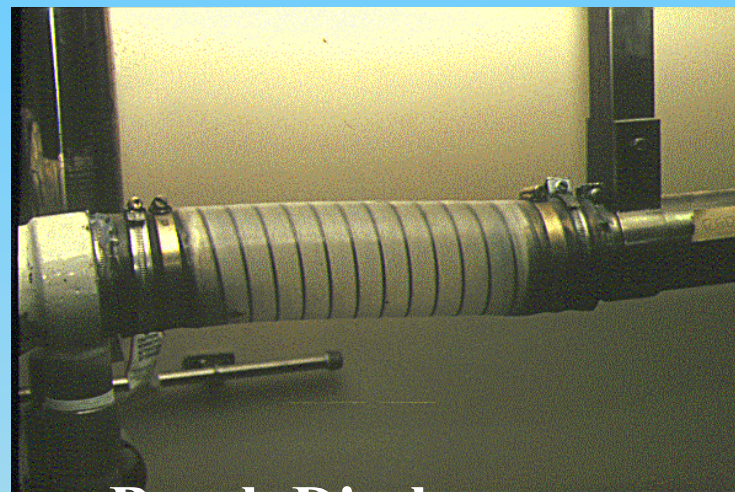
טמפרטורה 30°C

נקודת הבזק של טולואן

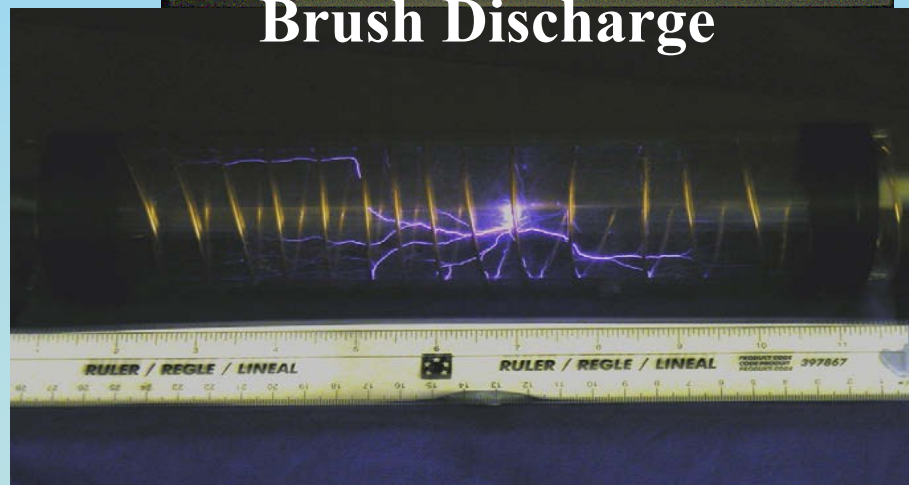
4.4°C

מוליכות $< 100\text{pS/m}$

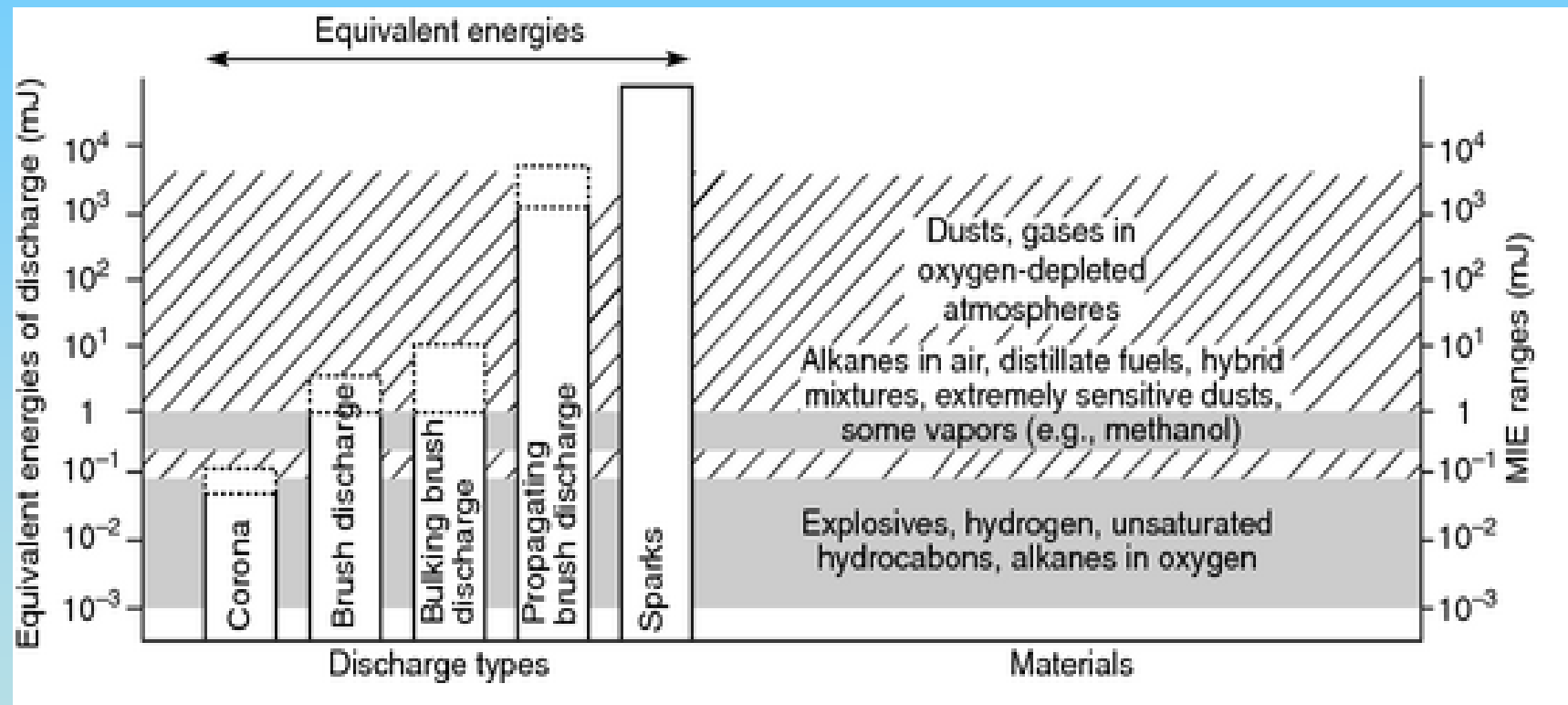
הצינור היה ישן ולא מוארק
היטב



Brush Discharge



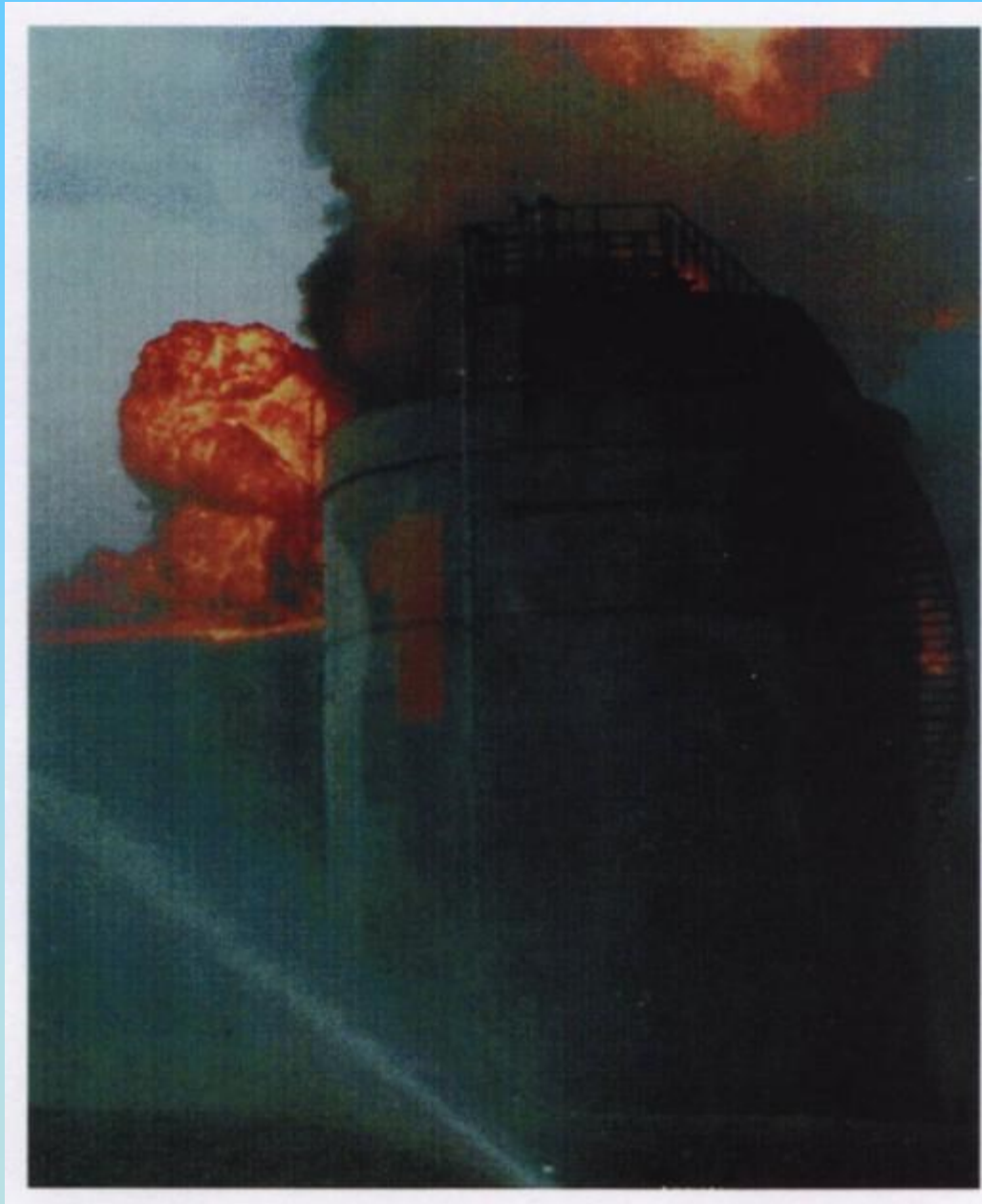
האנרגיה האופיינית בסוגי פא"ס



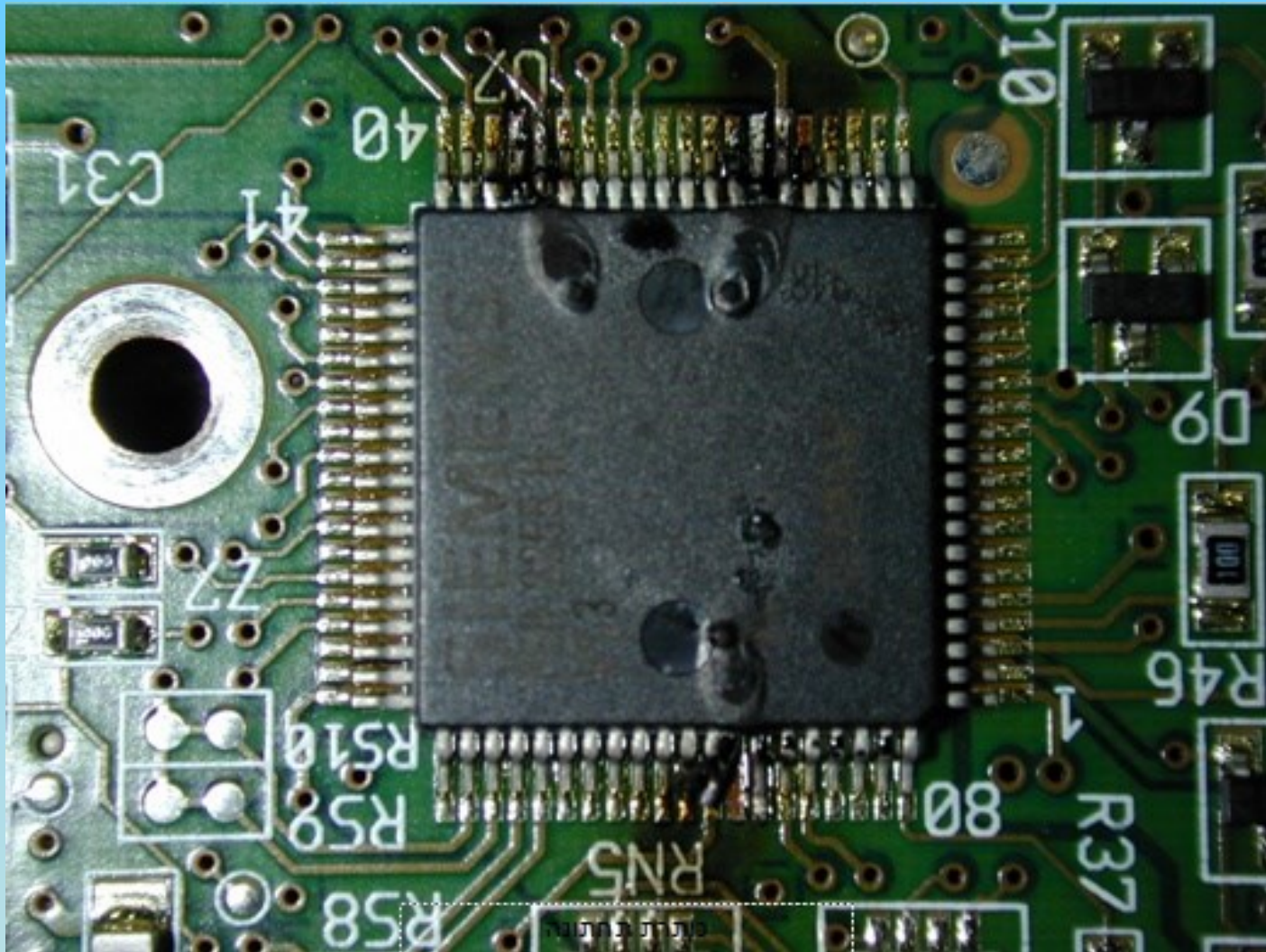
אנרגיית הצתה של חומרים שונים

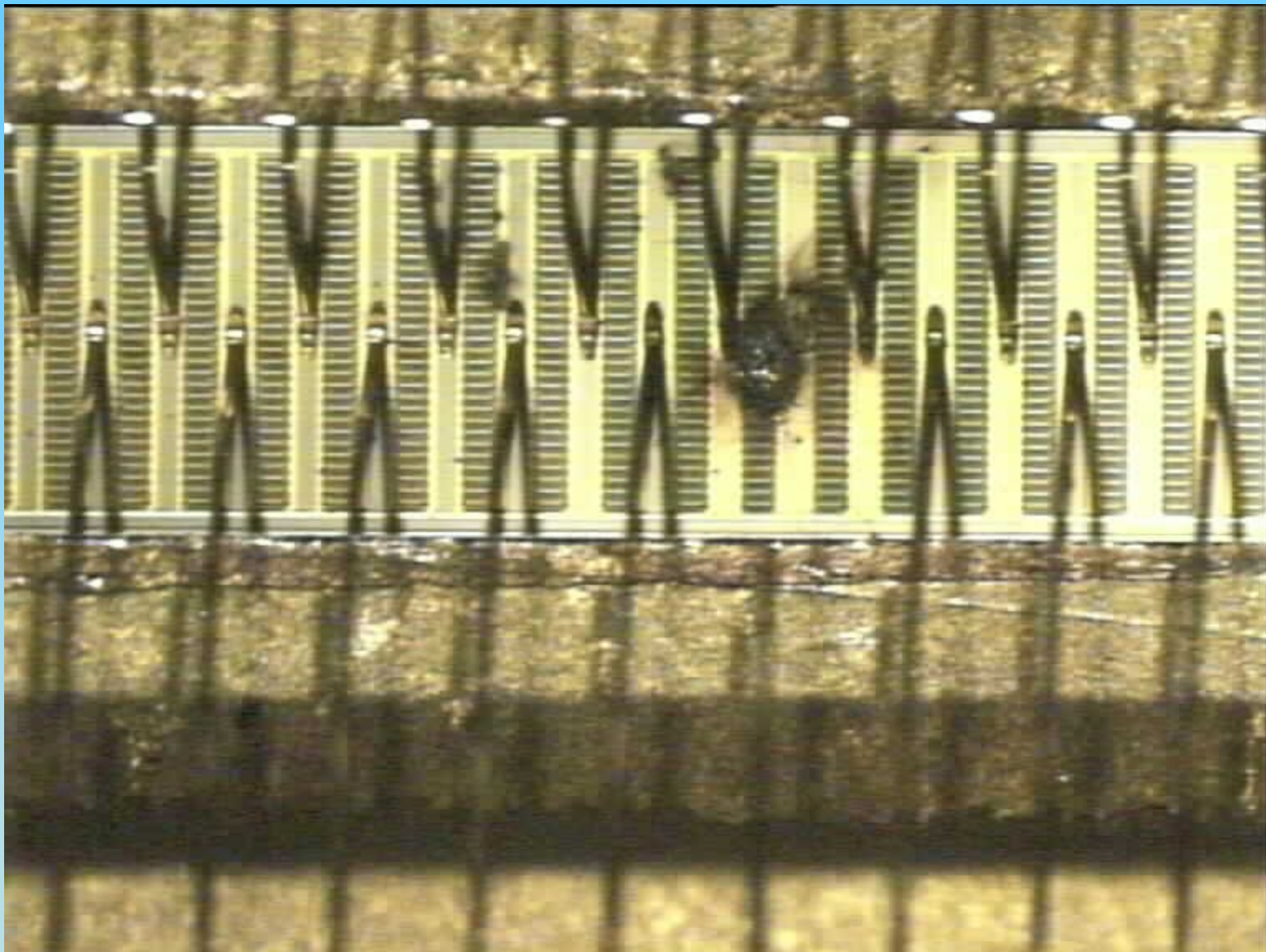
החומר	אנרגיה (מילי-ג'אול)
אבקת כביסה (אוריאה - פורמאלדהיד)	80
נסורת עץ	20
אבקת אלומיניום	20
אבקת סבון	60
אתר	1.5
ט.נ.ט	62
תערובת א.ס.א (לנפצים)	0.01
אבק שריפה NH_4 1.4 מ"מ	110
אזיד עופרת גבישי	0.004
סטיפנת עופרת (בסיסי)	0.003
אציטילן / מימן	0.019
פחמו דו-גפריתי CS_2	0.009
אבקת צירקונים	15

אש ומוות בבתי הזיקוק באשדוד (1998)



נזקים מחשמל סטטי לכרטיס אלקט' של אודיוקוד





חשמל סטטי

**אנרגיה פוטנציאלית המופקת
על ידי קיטוב או השראה.**

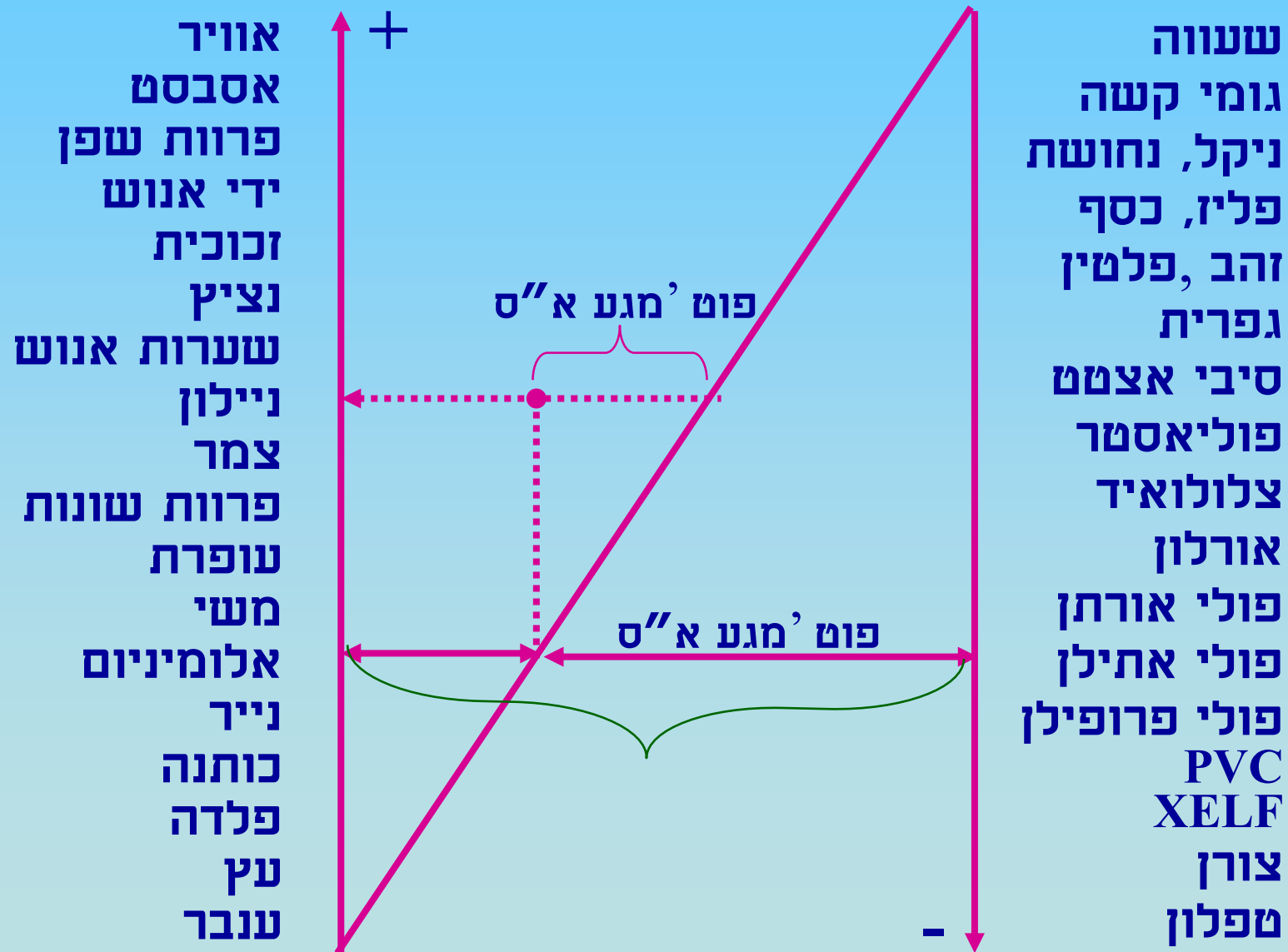
תהליך טריבו - חשמלי ☞

הפקת חשמל על ידי שפשוף שני חומרים זה בזה.

הכלל הטריבו - אלקטרי ☞

**ככל שעני חומרים רחוקים יותר בטבלה
הטריבואלקטרית, כך יגדל המטען החשמלי שיתהווה
במגע ביניהם.**

סדרה טריבוכשמלית לדוגמה



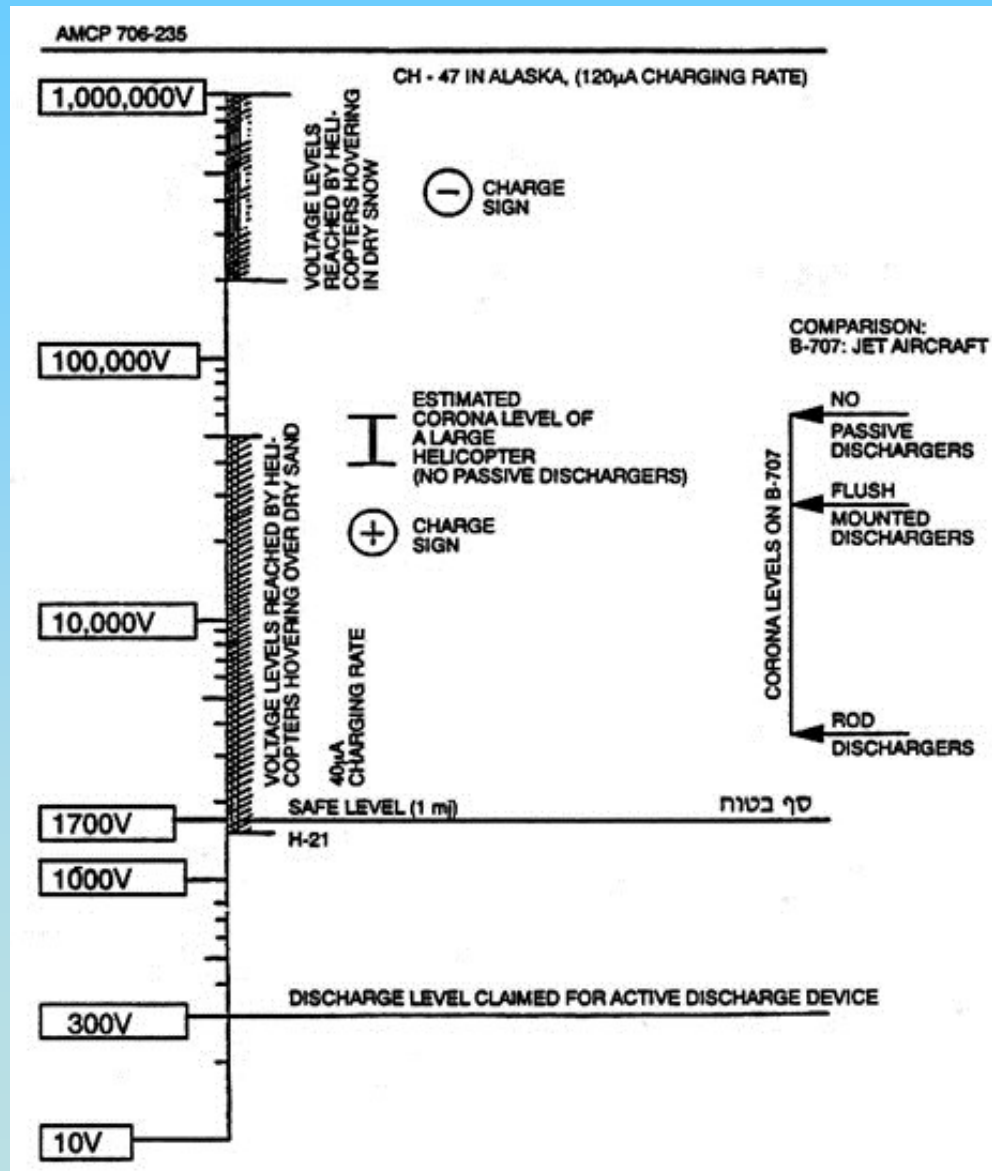


כיצד להפוך פודל חמוד לקיפוד עם חשמל סטטי בתהליך טריבואלקטרי



Moshe Netzer - EMC Engineering
and Safety

טעינה א"ס בכלי טייס



טעינת א"ס באמצעות השדאה



Courier Times
5/9/96

Bensalem yesterday, state used drug money to finance

■ WRIGHTSTOWN

Quarry blast kills man

Police say accidents at the quarries are rare. Three other workers were not hurt and only some explosives detonated.

By Julie Knipe-Brown
Courier Times

A Philadelphia man was killed yesterday in an explosion that rocked a Wrightstown quarry, ripping a hole through a truck loaded with ammonium nitrate, police said.

The 9:30 a.m. blast killed Gerald T. Little, 31, as he was handling blasting caps at the rear of a truck parked near the bottom of Miller Quarries on Mill Creek Road in Rushland.

Little lost his left arm in the blast and was killed instantly, according to Bucks County Coroner Thomas Rosko.

The victim and three other men had just finished filling 19 holes with the explosive ANFO-X; an ammonium nitrate fuel oil, Buckingham Ptl. Robert McLeod said.

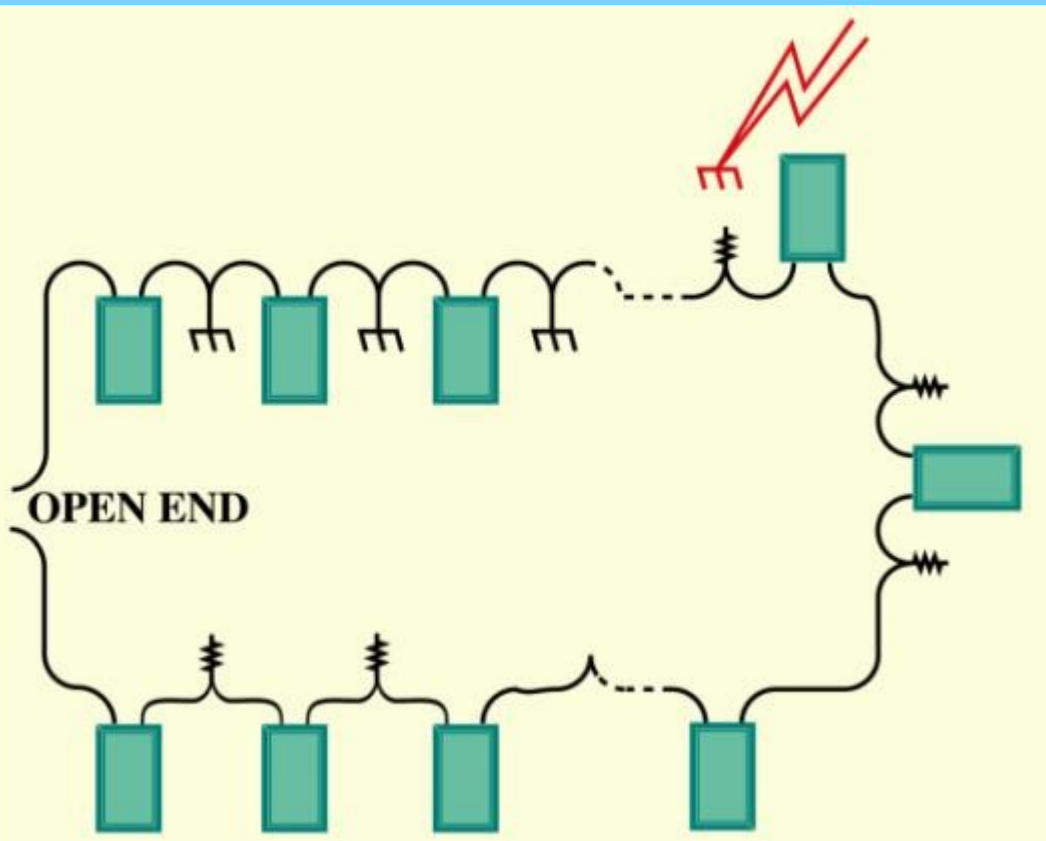


Shipmates work to steer the ship up the l

Set sa

חקירת אירוע פיצוץ עקב פגיעה ברק במחצבה בראש העין

JANUARY 21, 1996



מקרא:

מגע עם האדמה

צומת חוטים מבודדת

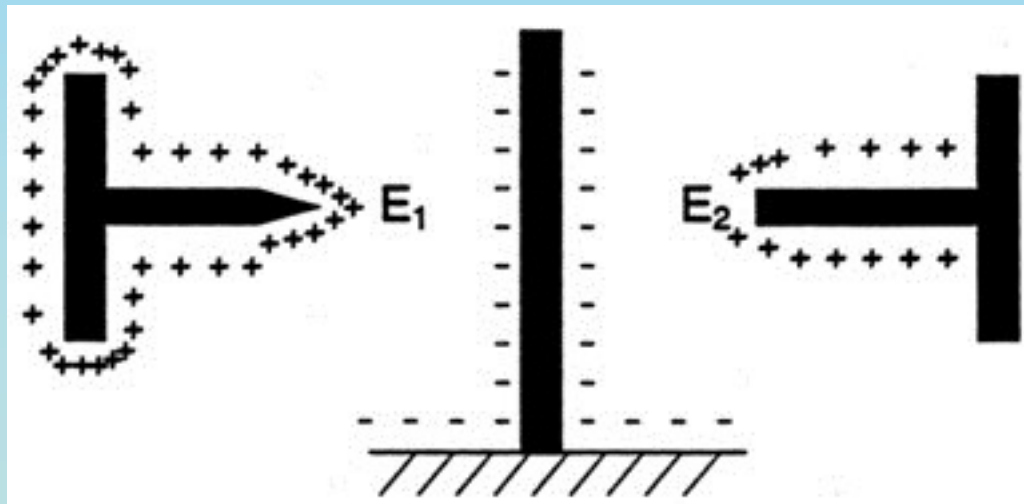
נפץ 1A/1W (16 יוזמו מתוך 42)



חוקים בסיסיים

1. אין מטען נטו בתוך מוליך.
2. השדה בתוך גוף חלול טעון חשמלית הינו אפס.
3. הפוטנציאלי ע"ג גוף מוליך, זהה בכל נקודה.
4. הפוטנציאל של גוף מוליך מוארק הינו - אפס.
5. עוצמת השדה הא"ס תלויה ישירות בצפיפות המטען וביחס הפוך למקדם הדיאלקטרי:

$$E = \rho / \epsilon_0$$



המשולש האלקטרוסטטי

פא"ס עלולה להפוך לאירוע בטיחותי בהתקיים המשולש הבא בשלמותו



המשולש האלקטרוסטטי בתחנת דלק



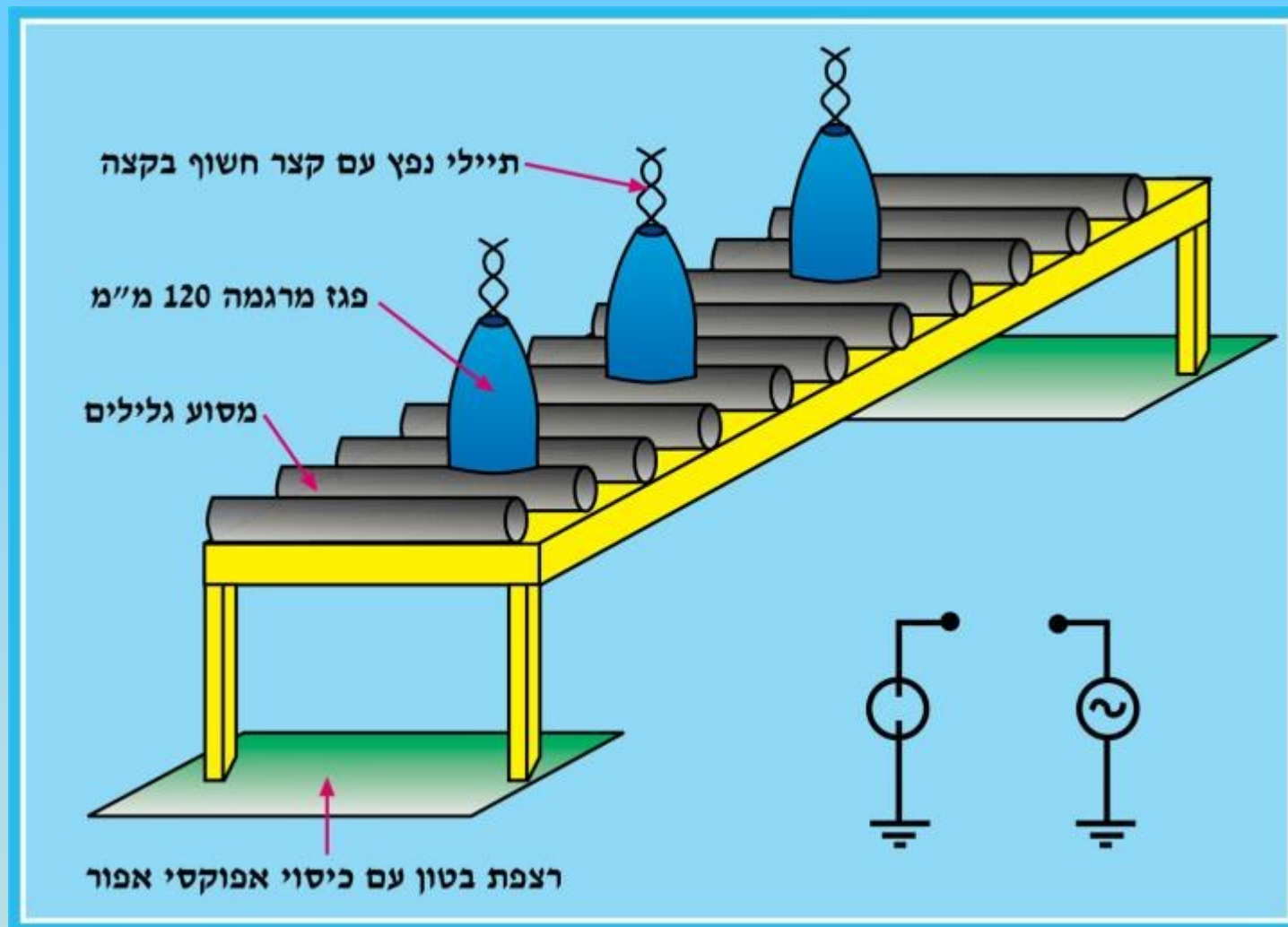
הסעודים אינם צריכים לשחק עם "צעצועים" יקרים

זה מה שצפוי כאשר דלק וגורם הצתה (חשמל סטטי) נפגשים ביחד

Saudi Fuel guys are not doing very well these days... Another F-15 bites the dust. Here's a Saudi F15C that didn't quite survive the flame-retardant test. The shot is inside the fuel barn. The fire suppression system was deactivated. Apparently the foam was automatically dumped during a weekend for no reason and the canopy was open on an aircraft. Their Solution: Turn off the automatic system. Several weeks later **a fuel tank was being drained in the open air from the wing to a 55-gallon drum on wheels with no grounding strap. Supposedly a guy touched the drum and Poof! Yeah, he's dead.**

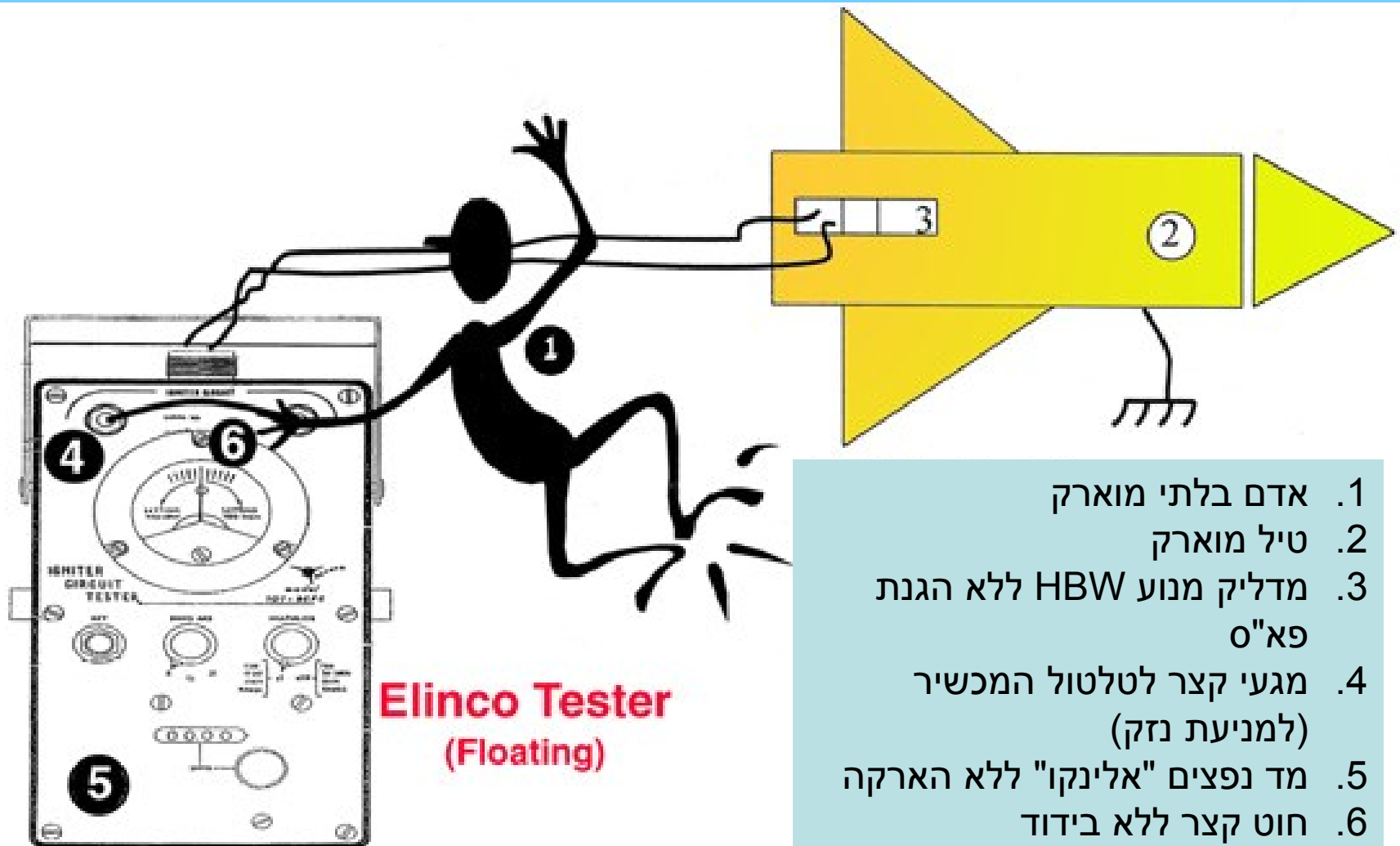


תרחיש שהיה – כמעט תאונה



בוא אלי פגז נחמד שב אצלי על כף היד,
שב תנוח אל תירה ותעוף בלי כוונה....

תאונת חשמל סטטי בצי האקוודורי עם טל "גבריאלי" (April 99)



1. אדם בלתי מוארק
2. טיל מוארק
3. מדליק מנוע HBW ללא הגנת פא"ס
4. מגעי קצר לטלטול המכשיר (למניעת נזק)
5. מד נפצים "אלינקו" ללא הארקה
6. חוט קצר ללא בידוד

עקרונות יסוד בבטיחות

- 1. צמצום האיום ומנגנון צימוד.**
- 2. צמצום הפגיעה בעובדים וברכוש.**

אמצעים עיקריים לבטיחות פא"ס

- 🌀 הארקת גופים מוליכים.
- 🌀 גישור בין גופים מוליכים.
- 🌀 הגברת לחות האוויר.
- 🌀 הקטנת רגישות וכמות של חומרים פציצים/דליקים.
- 🌀 הקטנת מספר העובדים החשופים לחומ"ס.
- 🌀 שיכוך גל הלם וכיבוי דליקה מהיר.

בקרת פא"ס - אמצעים עיקריים

זיהוי הצורך

- מערכות חשמל מוגנות התפוצצות.
- ניטור שדה א"ס בתהליכי עבודה עם חומרים רגישי פא"ס.

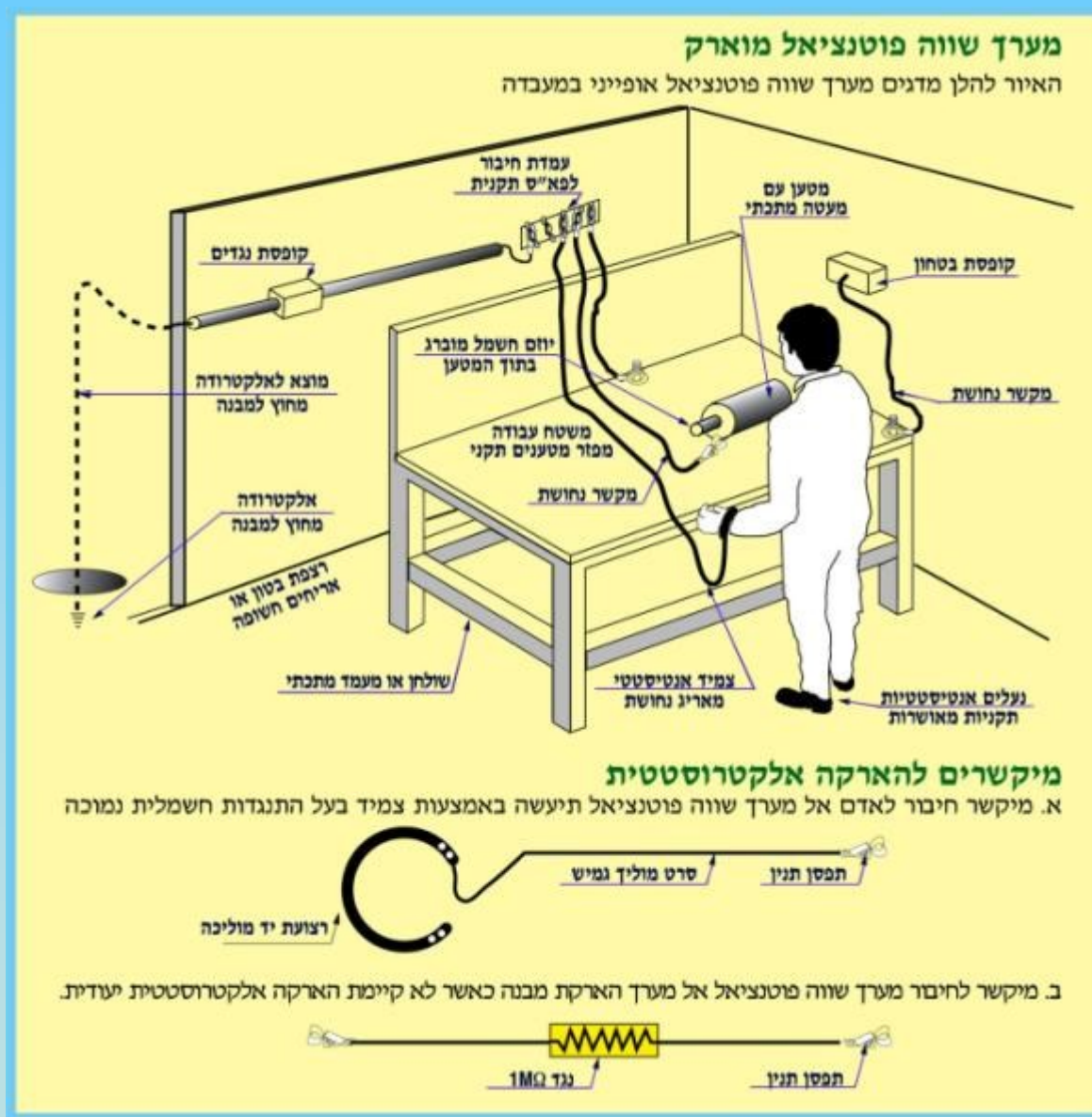
מניעת צבירה של מטענים א"ס

- הארקה של גופים מוליכים, כולל אדם.
- הגברת לחות האוויר.
- שימוש בחומרים מפזרי מטענים.
- יינון האוויר.

מניעת פריקה של מטענים א"ס

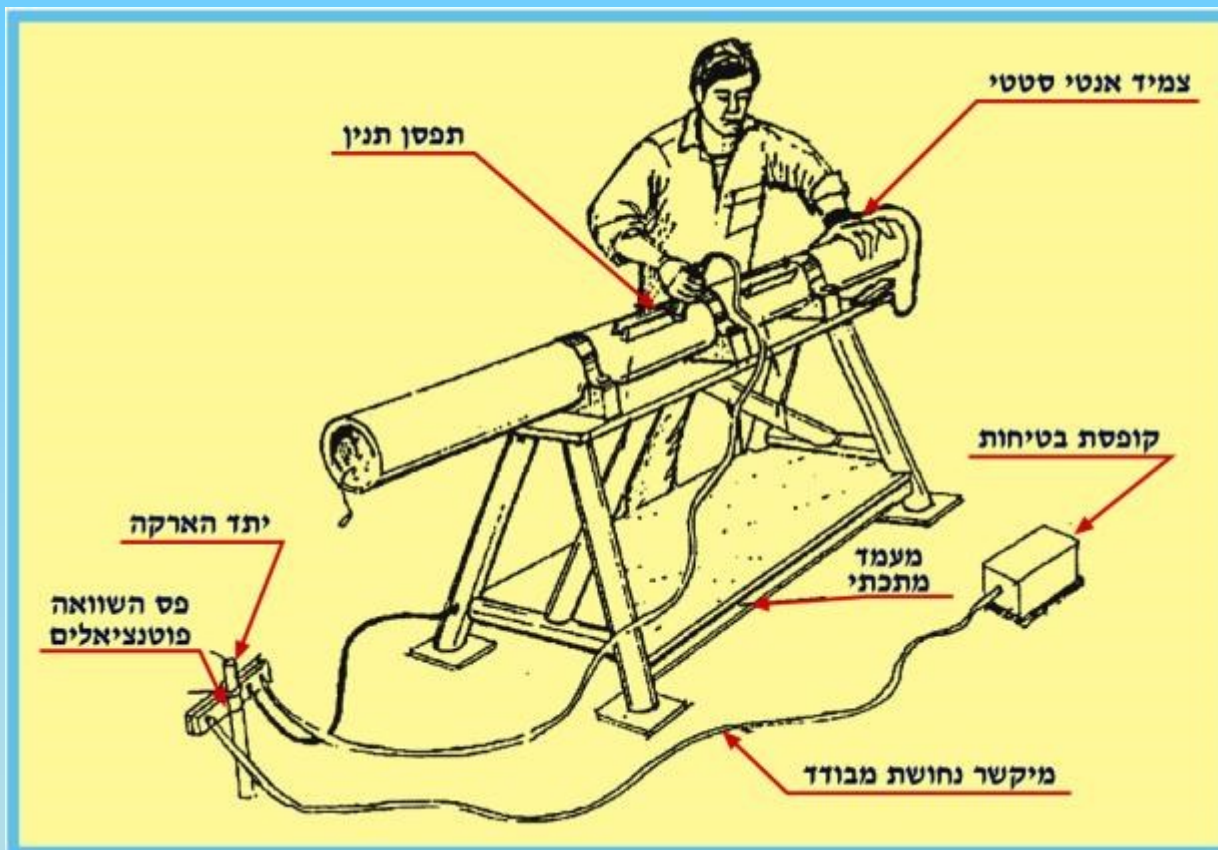
- גישור בין מרכיבים מוליכים.
- שימוש בחומרי זליגה א"ס.
- הכללת חומר/רכיב רגיש לפא"ס בתוך מעטפת מתכתית.

מערך שווה פוטנציאל ופריקה אלקטרוסטטית



מערך שווה פוטנציאל מוארק

האיור להלן מדגים מערך שווה פוטנציאל אופייני בשדה



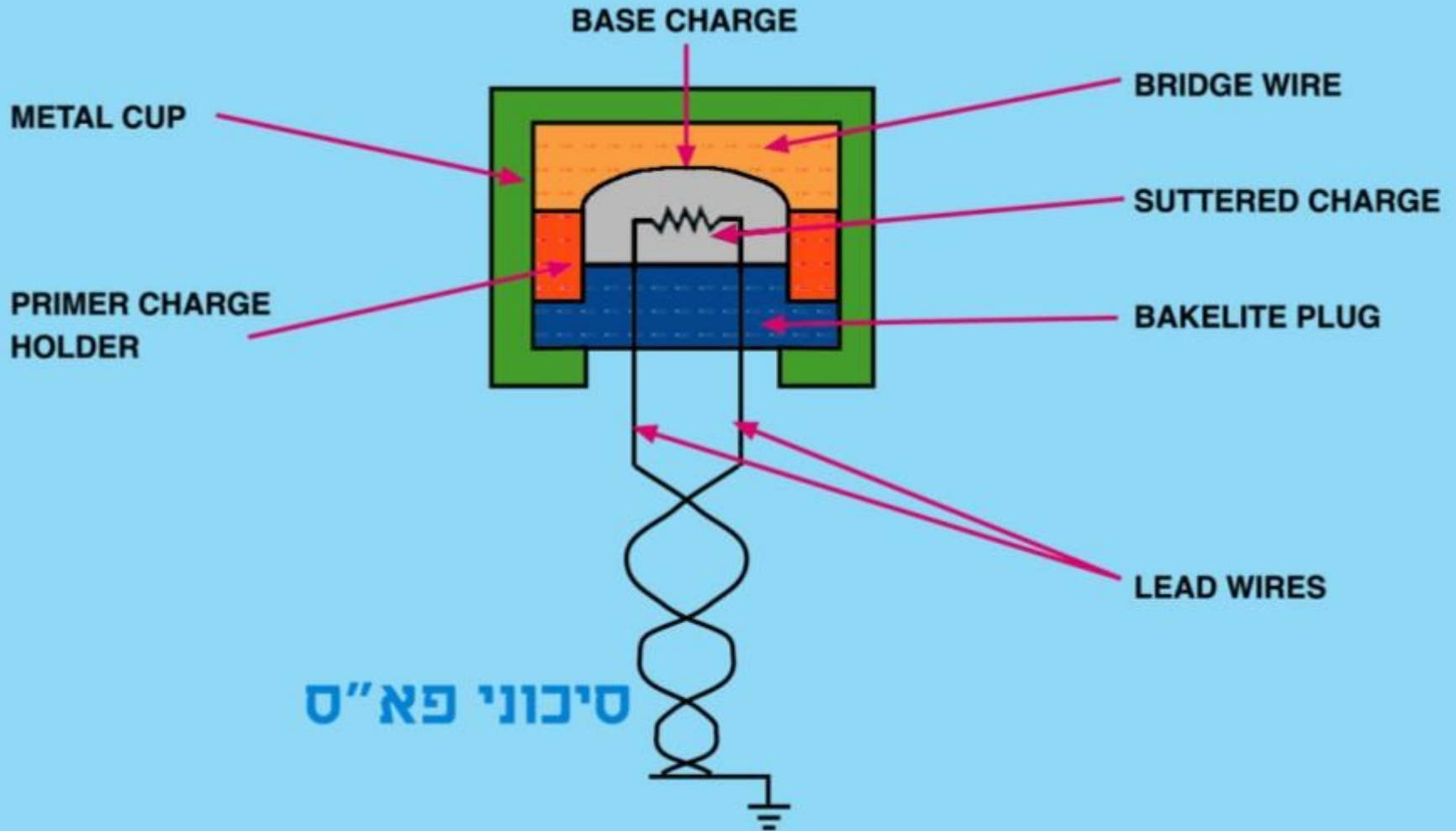
הערות:

- א. העובד לבוש ביגוד כותנה מלא ונועל נעליים אנטיסטטיות.
- ב. ביצוע חיבור מערך שווה פוטנציאל קודם לכל פעילות עם ועל הגוף החם.

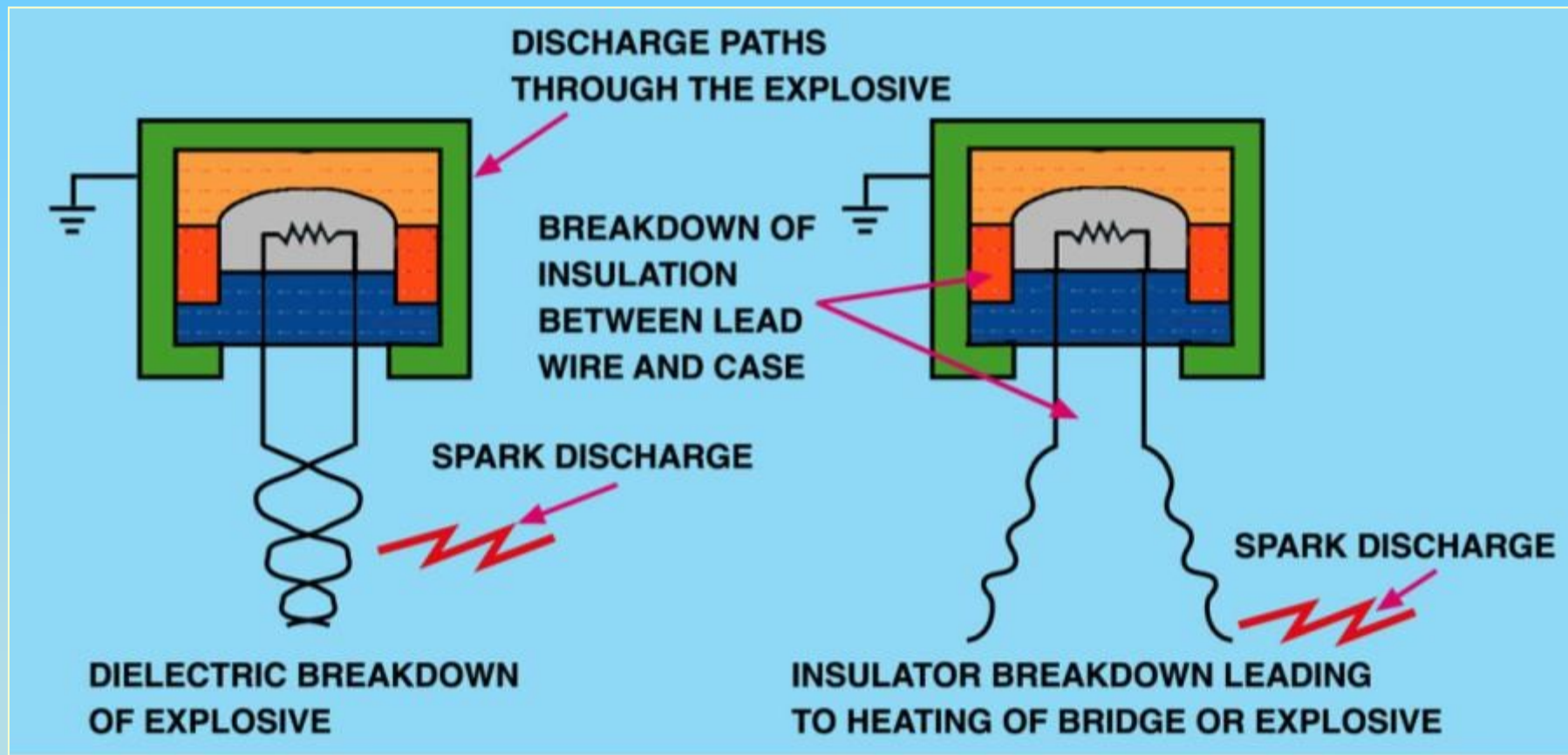
פוטנציאלים אלקטרוסטטיים אופייניים

מתח אלקטרוסטטי בלחות יחסית של				אופן התהוות המטען האלקטרוסטטי	
%10 עד %20		%65 עד %90			
35,000	V	1,500	V	הליכה על פני שטיח	
12,000	V	250	V	הליכה על רצפת וויניל	
6,000	V	100	V	עובד בתחנת עבודתו	
7,000	V	600	V	מעטפות וויניל המכילות הוראות עבודה	
20,000	V	1,200	V	שקית פוליאתילן רגילה המורמת משולחן העבודה	
18,000	V	1,500	V	כסא עבודה מרופד קצף פולי-אורתון	

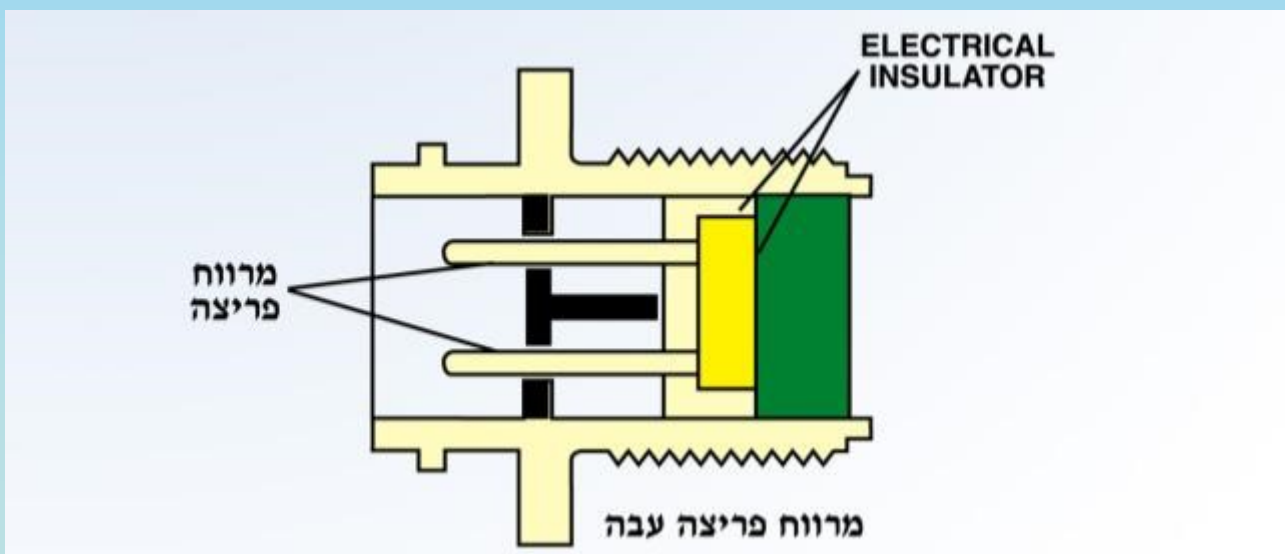
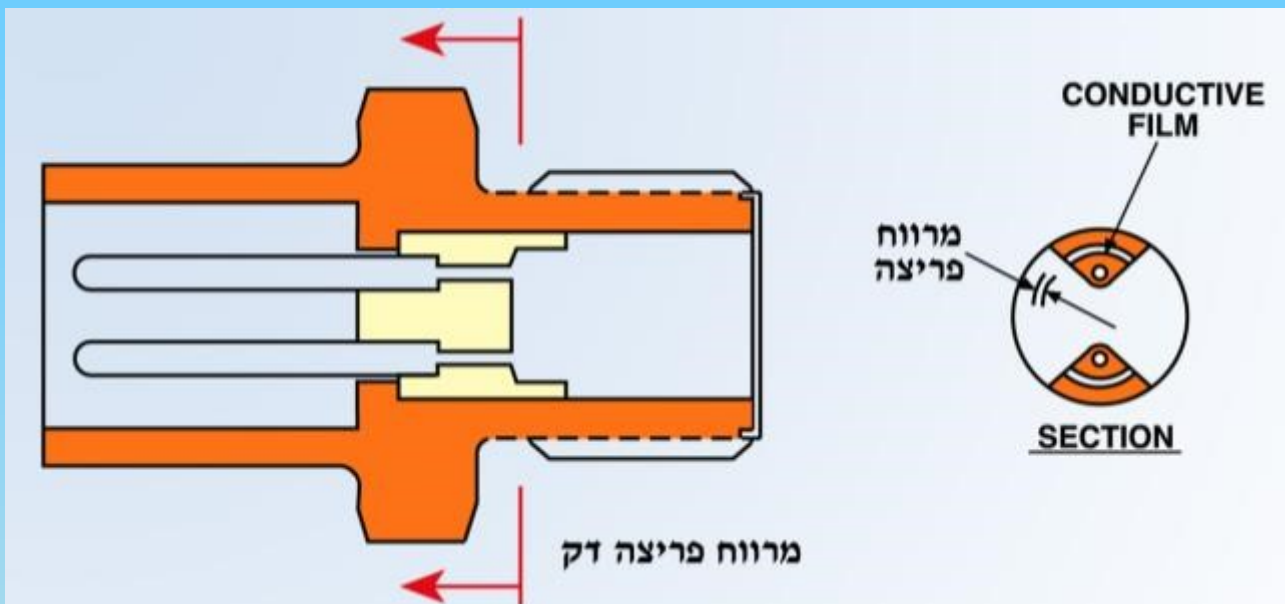
פא"ס אל גוף יוזם ומעבר מטען אל המוליכים



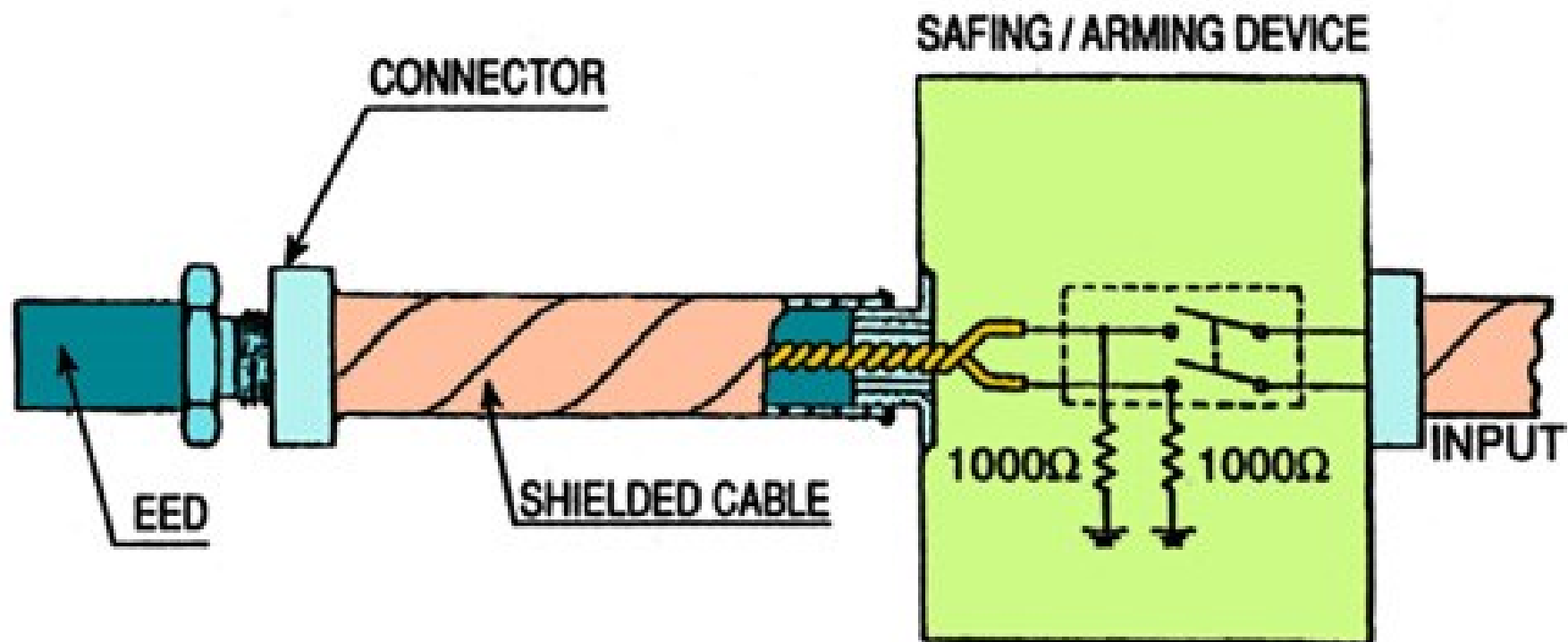
פא"ס אל מוליכי יוזם ומעבר מטען אל גוף היוזם



טכניקות הקשחת יוזם לפא"ס



התקנת נגדי זליגה לפא"ס



GALVANIC CELL

