

אלקטרודינמיקה

כא"מ, מתח הדקים, הספק ונצילות



Image courtesy of Stuart Miles at FreeDigitalPhotos.net

❖ למקור מתח ממשי ישנה **התנגדות פנימית** r , הנובעת מהתנגדות לתנועת היונים בתוך המקור.
כתוצאה מכך, בעת סגירת המעגל החשמלי, הסוללה מתחממת, כלומר צורכים אנרגיה בעצמה.

❖ מתח הדקים - V_{ab} : המתח בין דקי מקור מתח כפי שנמדד בפועל ע"י מכשיר מדידה

❖ הכא"מ - ε : מתח ההדקים של מקור מתח, כאשר לא זורם דרך זרם

❖ מתח פנימי - V_r : כמות האנרגיה המשוחררת על ידי כל יחידת מטען בתוך המקור.

❖ הקשר בין מתח ההדקים של סוללה לזרם דרכה:

$$V_{ab} = \varepsilon - I \cdot r$$

❖ בחיבור סוללות בטור, הכא"מ השקול של הסוללה הוא סכום הכא"מים של התאים, וההתנגדות הפנימית השקולה שווה לסכום ההתנגדויות הפנימיות של התאים.

$$\varepsilon_T = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3$$

$$r_T = r_1 + r_2 + r_3$$

❖ בחיבור סוללות **זהות** במקביל, הכא"מ השקול שווה לכא"מ של כל אחד מהתאים, וההתנגדות הפנימית השקולה שווה ל:

$$\varepsilon_T = \varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon_3$$

$$r_T = \frac{r}{n}$$

❖ הספק של מכשיר חשמלי מוגדר כקצב המרת אנרגיה חשמלית לסוגי אנרגיה אחרים.

$$P = \frac{E}{t} = \frac{q \cdot V}{t}$$

$$P = V \cdot I = I^2 \cdot R = \frac{V^2}{R}$$

❖ **נצילות המעגל החשמלי** η מוגדרת כיחס בין ההספק המועיל P_R להספק המושקע P , כלומר:

$$\eta = \frac{P_R}{P}$$

❖ כאשר ההתנגדות הפנימית שווה להתנגדות החיצונית ההספק הוא מרבי, והנצילות היא 50% .

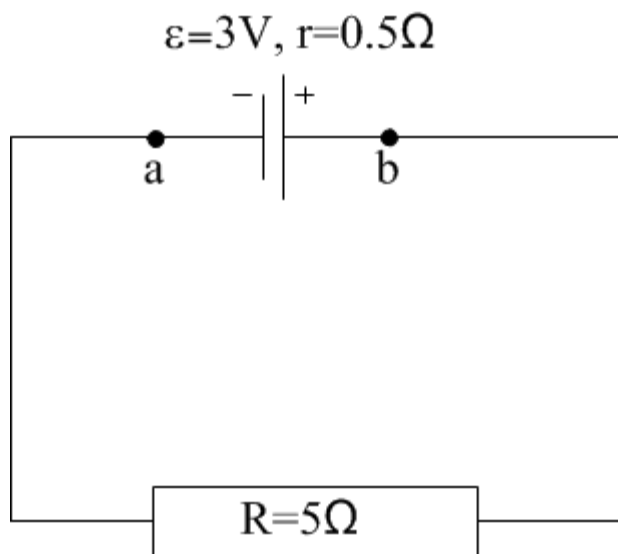
לכל סוללה יש התנגדות פנימית משל עצמה, המיוצגת ע"י נגד r . עקב כך, המתח שמפיקה הסוללה V_{ab} קטן מהערך הרשום עליה (ε).

א- חשבו את מתח ההדקים במעגל המתואר בתרשים.

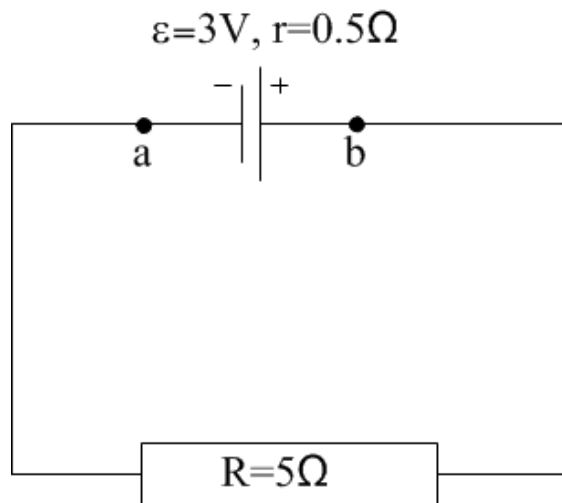
ב- מהו ההספק שמפיקה הסוללה?

ג- מהו ההספק המתפתח בנגד החיצוני ומהו ההספק המתפתח בנגד הפנימי?

ד- הראו כי מתקיים שימור אנרגיה במעגל.



א- חשבו את מתח ההדקים במעגל המתואר בתרשים.



◀ את מתח ההדקים נחשב על פי הקשר: $V_{ab} = \varepsilon - I \cdot r$

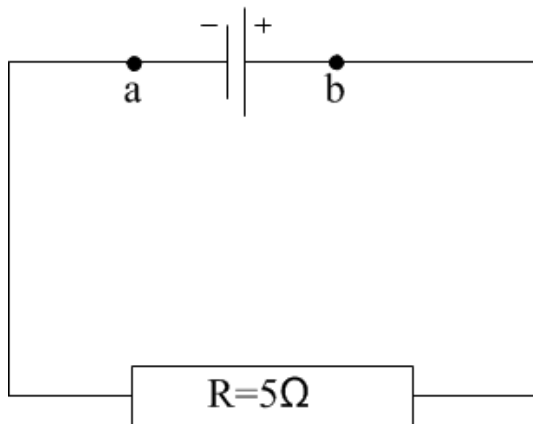
◀ לשם כל יש לחשב את הזרם במעגל.
הואיל וההתנגדות הפנימית של הסוללה נחשבת כהתנגדות לכל דבר, היא משפיעה על הזרם הכללי:

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r} = \frac{3}{5 + 0.5} = 0.545[A]$$

◀ לכן, מתח ההדקים:

$$V_{ab} = \varepsilon - I \cdot r = 3 - 0.545 \cdot 0.5 = 2.73[V]$$

$$\varepsilon = 3V, r = 0.5\Omega$$



ב- מהו ההספק שמפיקה הסוללה?

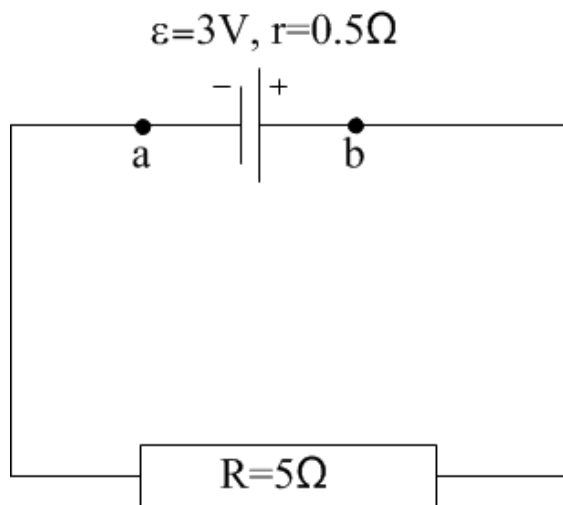
◀ את ההספק שמפיקה הסוללה נחשב על פי הקשר הבא:

$$P = I \cdot \varepsilon$$

◀ את הזרם חישבנו בסעיף הקודם, ולכן:

$$P = I\varepsilon = 0.545 \cdot 3 = 1.636 [W]$$

ג- מהו ההספק המתפתח בנגד החיצוני ומהו ההספק המתפתח בנגד הפנימי?



▶ את ההספק נחשב על פי הקשר הבא:

$$P = I^2 \cdot R$$

▶ הואיל והמעגל הוא טורי, הזרם בשני הנגדים שווה, ולכן:

▶ בנגד הפנימי:

$$P = I^2 \cdot r = 0.545^2 \cdot 0.5 = 0.149 [W]$$

▶ ובנגד החיצוני:

$$P = I^2 \cdot R = 0.545^2 \cdot 5 = 1.49 [W]$$

ד- הראו כי מתקיים שימור אנרגיה במעגל.

◀ על מנת להראות שימור אנרגיה נראה כי ההספק שמפיקה הסוללה שווה לזה המתפתח בשני הנגדים
(עד כדי עיגול התוצאות):

$$P_{\varepsilon} = P_R + P_r$$

$$1.636[\text{W}] \cong 1.49[\text{W}] + 0.14[\text{W}]$$

במעגל, הדומה לזה שבשאלה הקודמת, מתקבל:

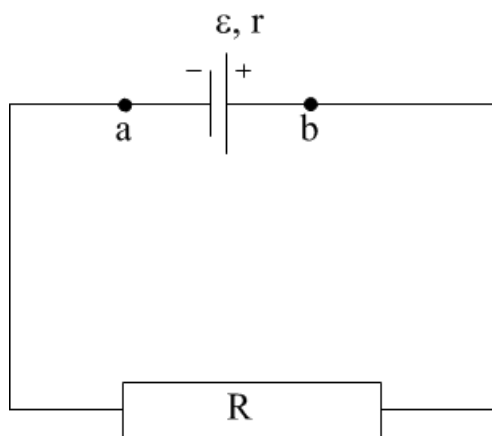
זרם של $0.5[A]$ כאשר הנגד החיצוני הוא בן $10[\Omega]$

וזרם של $0.27[A]$ כאשר הנגד החיצוני הוא בן $20[\Omega]$.

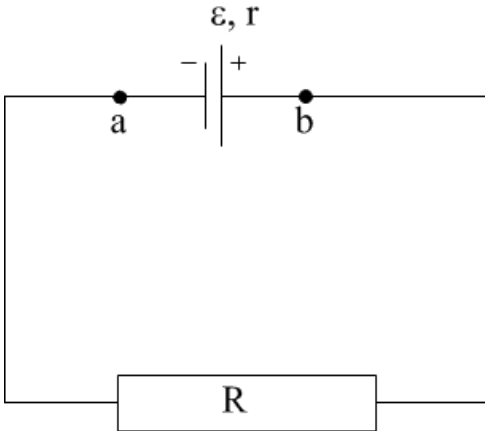
א- חשבו את כ"מ הסוללה ואת ההתנגדות הפנימית שלה.

ב- חשבו את ההספק המתפתח בצרכן ובתוך הסוללה בכל אחד מהמקרים.

ג- הסבירו את התוצאות שקיבלתם בסעיף ב' בעזרת נתוני הצרכן (הנגד החיצוני) בכל אחד מהמקרים.



במעגל, הדומה לזה שבשאלה הקודמת, מתקבל: זרם של $0.5[A]$ כאשר הנגד החיצוני הוא בן $10[\Omega]$
זרם של $0.27[A]$ כאשר הנגד החיצוני הוא בן $20[\Omega]$.



א- חשבו את כ"מ הסוללה ואת ההתנגדות הפנימית שלה

נעזר בקשר: $I = \frac{\varepsilon}{R + r}$

נציב את הנתונים: $0.5 = \frac{\varepsilon}{10 + r}$

$0.27 = \frac{\varepsilon}{20 + r}$

$$\frac{0.5}{0.27} = \frac{\frac{\varepsilon}{10 + r}}{\frac{\varepsilon}{20 + r}} = \frac{20 + r}{10 + r} = 1.851$$

$r = 1.751[\Omega]$

נחלק את המשוואות אל מנת לפתור עבור r :

כעת נפתור עבור ε : $I = \frac{\varepsilon}{R + r}$

$\varepsilon = I(R + r)$

$\varepsilon = 0.5(10 + 1.751)$

$\varepsilon = 5.88[V]$

- ב- חשבו את ההספק המתפתח בצרכן ובתוך הסוללה בכל אחד מהמקרים.
 ◀ נזכור כי בשני המקרים כא"מ הסוללה והתנגדותה הפנימית נותרים קבועים.
 ◀ במקרה הראשון נתון כי הזרם הוא $0.5[A]$ והנגד החיצוני (הצרכן) הוא $10[\Omega]$. לכן:

$$P_R = I^2 \cdot R = 0.5^2 \cdot 10 = 2.5[W]$$

$$P_r = I^2 \cdot r = 0.5^2 \cdot 0.751 = 0.188[W]$$

- ◀ במקרה השני נתון כי הזרם הוא $0.27[A]$ והנגד החיצוני (הצרכן) הוא $20[\Omega]$. לכן:

$$P_R = I^2 \cdot R = 0.27^2 \cdot 20 = 0.729[W]$$

$$P_r = I^2 \cdot r = 0.27^2 \cdot 0.751 = 0.055[W]$$

ג- הסבירו את התוצאות שקיבלתם בסעיף ב' בעזרת נתוני הצרכן (הנגד החיצוני) בכל אחד מהמקרים.

- יש לזכור כי ההספק תלוי בערך הריבועי של הזרם.
- במקרה הראשון הצרכן קטן יותר ולכן הזרם הכולל במעגל גבוה יותר. מסיבה זו גם ההספקים בצרכן ובנגד הפנימי גבוהים יותר.
- במקרה השני הצרכן גדול יותר, הזרם קטן יותר ולכן גם ההספקים קטנים יותר.
- בכל אחד מהמקרים מתקיים שימור אנרגיה במעגל.

לרשת חשמל ביתית מחוברות 3 נורות שעליהן רשום: $220[V]$ $40[W]$, $220[V]$ $60[W]$, ו- $220[V]$ $75[W]$.

א- מה המשמעות של צמד הנתונים הרשום על הנורות? מה הקשר בין נתונים אלה לעוצמת האור המופקת מהנורה?

ב- כיצד מחוברות הנורות במעגל ומהי ההתנגדות של כל אחת מהן?

ג- חשבו את ההתנגדות השקולה ישירות מנתוני השאלה ובדקו תשובתכם על פי התוצאות של סעיף ב'.

ד- מתח הרשת הביתית בארה"ב הוא $120[V]$. מה יהיה ההספק הכולל של 3 הנורות ברשת זו? הסבירו את התוצאה שקיבלתם.

לרשת חשמל ביתית מחוברות 3 נורות שעליהן רשום: $220[V]$ $40[W]$, $220[V]$ $60[W]$, ו- $220[V]$ $75[W]$.

א- מה המשמעות של צמד הנתונים הרשום על הנורות? מה הקשר בין נתונים אלה לעוצמת האור המופקת מהנורה?

▶ על כל נורה מצוין ההספק שהיא מסוגלת להפיק (W) במתח הנתון (V).

▶ המספרים מציינים את ערך המתח המומלץ וההספק הנצרך במתח זה עבור הנורה. אם נחבר את הנורה למתח נמוך יותר, ההספק שיופק יהיה נמוך יותר.

לרשת חשמל ביתית מחוברות 3 נורות שעליהן רשום: $220[V]$ $40[W]$, $220[V]$ $60[W]$, $220[V]$ $75[W]$.
ו- $220[V]$ $75[W]$.

ב- כיצד מחוברות הנורות במעגל ומהי ההתנגדות השקולה שלהן? מדוע?

- ▶ ברשת חשמל ביתית הצרכנים מחוברים במקביל, ולכן הנורות מחוברות במקביל.
- ▶ חיבור זה מבטיח כי כל הצרכנים יקבלו מתח אחיד ללא קשר עם מספר הצרכנים המחוברים לרשת (ולכן ניתן לייצר את המכשירים מראש עבור רשתות ארציות ידועות). בנוסף, מאפשר חיבור זה לחבר רק חלק מהמכשירים בעוד היתר מנותקים מהרשת.

נחשב את ההתנגדות של הנורה הראשונה:

▶ ידוע כי כאשר המתח על הנורה הוא $220[V]$ היא מפיקה $40[W]$. לכן:

$$P_1 = \frac{V^2}{R}$$

$$40 = \frac{220^2}{R_1}$$

$$R_1 = 1210[\Omega]$$

▶ באותו האופן נקבל עבור שתי הנורות האחרות:

$$R_2 = \frac{220^2}{60} = 806.66[\Omega]$$

$$R_3 = \frac{220^2}{75} = 645.33[\Omega]$$

ג- חשבו את ההתנגדות השקולה ישירות מנתוני השאלה ובדקו תשובתכם על פי התוצאות של סעיף ב'.

מתוך נתוני השאלה ידוע כי ההספק הכולל של 3 הנורות כשהן מחוברות למתח של 220[V] הוא:
 $40+60+75=175[W]$

לכן: ◀

$$P_T = \frac{V^2}{\Sigma R}$$

$$175 = \frac{220^2}{\Sigma R} =$$

$$\Sigma R = 276.57[\Omega]$$

בדיקה: הנורות מחוברות במקביל, ולכן: ◀

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$$R_T = 276.57[\Omega]$$

ד- מתח הרשת הביתית בארה"ב הוא $120[V]$.

מה יהיה ההספק הכולל של 3 הנורות ברשת זו? הסבירו את התוצאה שקיבלתם.

◀ כעת אנו יודעים את ההתנגדות השקולה של 3 הנורות, ולכן ניתן לחשב ישירות על פי העובדה, שההספק תלוי בריבוע המתח. לכן, אם המתח קטן פי 2 ההספק יקטן פי 4.

$$P_T = \frac{V^2}{\Sigma R}$$

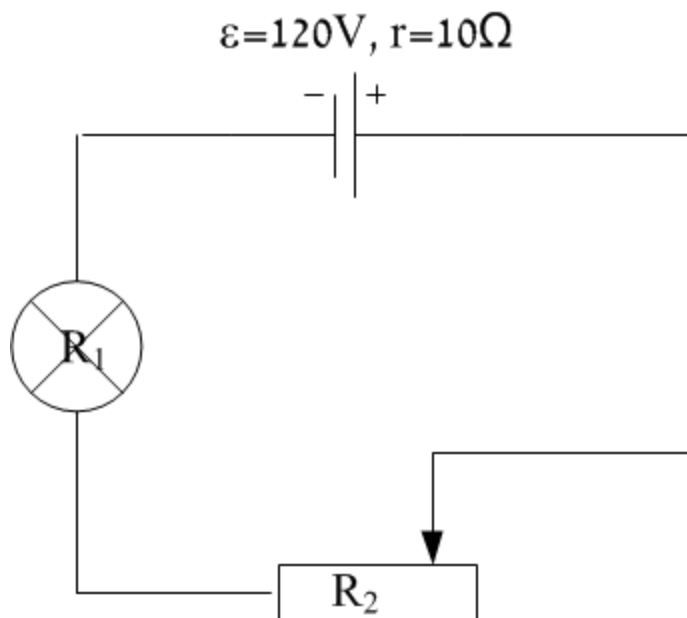
$$P_T = \frac{120^2}{276.57} =$$

$$P_T = 52.06[W]$$

◀ ההספק הכולל של הנורות הוא נמוך יותר (הן תארנה באור חלש יותר), זאת משום שחוברו למתח נמוך יותר. כאמור בסעיף א', ההספק הרשום על הנורות מתקבל כאשר הן מחוברות אל המתח הרשום עליהן.

נורה בעלת התנגדות $R_1=144[\Omega]$ מחוברת למקור מתח של $120[V]$ ולנגד משתנה R_2 , המאפשר לשלוט בעוצמת האור המופקת ממנה (ראו תרשים).

- א- מהו ההספק המופק מהנורה, כאשר הנגד המשתנה מחובר בגודלו המינימלי?
- ב- מהו ההספק המופק מהנורה, כאשר התנגדות הנגד המשתנה משתווה להתנגדות הנורה?
- ג- מה צריכה להיות ההתנגדות הנגד המשתנה, אם ההספק בנורה הוא $50[W]$?



נורה בעלת התנגדות $R_1=144[\Omega]$ מחוברת למקור מתח של $120[V]$ ולנגד משתנה R_2 , המאפשר לשלוט בעוצמת האור המופקת ממנה (ראו תרשים).

א- מהו ההספק המופק מהנורה, כאשר הנגד המשתנה מחובר בגודלו המינימלי?

במקרה זה ההתנגדות השקולה במעגל היא של הנורה והמקור בלבד ($R_2=0$). לכן:

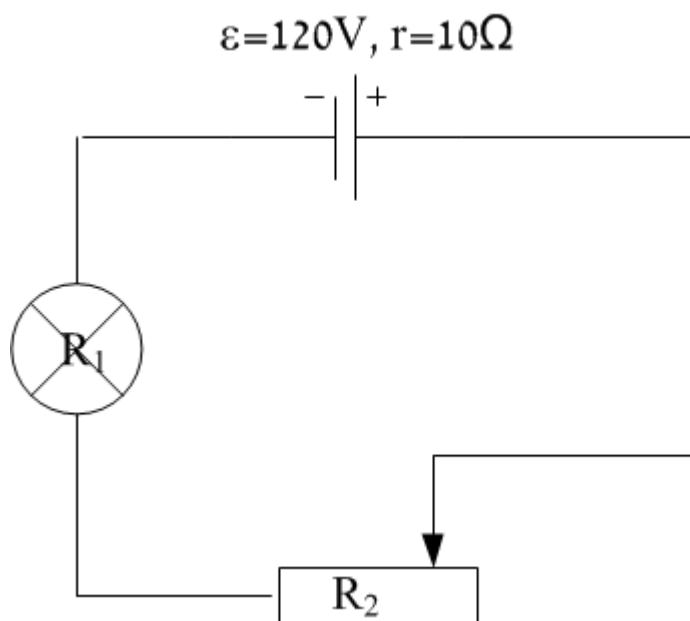
$$I = \frac{\varepsilon}{\Sigma R} = \frac{\varepsilon}{R_1 + r}$$

$$I = \frac{120}{144 + 10} = 0.78[A]$$

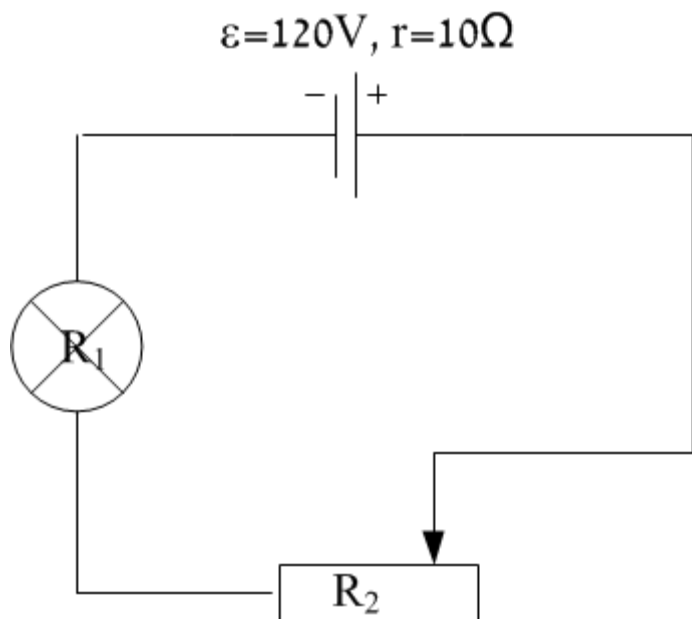
ההספק המתפתח בנורה הוא:

$$P = I^2 R_1$$

$$P = 0.78^2 \cdot 144 = 87.43[W]$$



ב- מהו ההספק המופק מהנורה, כאשר התנגדות הנגד המשתנה משתווה להתנגדות הנורה?
 הזרם במקרה זה: ◀



$$I = \frac{\varepsilon}{\Sigma R} = \frac{\varepsilon}{R_1 + R_2 + r}$$

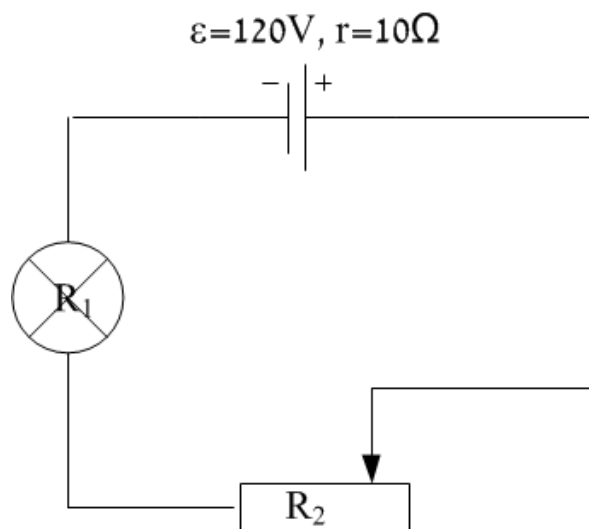
$$I = \frac{120}{144 + 144 + 10} = 0.4[A]$$

◀ וההספק בנורה:

$$P = I^2 R_1$$

$$P = 0.4^2 \cdot 144 = 58[W]$$

ג- מה צריכה להיות ההתנגדות הנגד המשתנה, אם ההספק בנורה הוא $50[W]$?
 ◀ נחשב את הזרם במקרה זה:



$$P = I^2 \cdot R_1$$

$$50 = I^2 \cdot 144$$

$$I = 0.59[A]$$

◀ ולכן:

$$I = \frac{\varepsilon}{\Sigma R} = \frac{\varepsilon}{R_1 + R_2 + r}$$

$$0.59 = \frac{120}{144 + R_2 + 10}$$

$$R_2 = 49.38[\Omega]$$

לסוללה משומשת מאוד יש התנגדות פנימית גבוהה.

מחברים לסוללה וולטמטר ואחר כך אלקטרומטר (המאפשר מדידת מתח תוך כדי מעבר זרם זניח דרכו). במקרה הראשון הקריאה היא $1.4[V]$ ובמקרה השני הקריאה היא $1.55[V]$. התנגדות הוולטמטר היא $280[\Omega]$.

א- סרטטו מעגלים מתאימים לנתוני הבעיה.

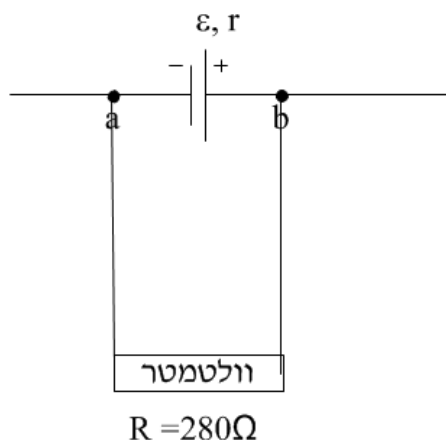
ב- מהו הכא"מ של הסוללה?

ג- חשבו את ההתנגדות הפנימית של הסוללה.

ד- מהו ההספק המקסימלי שניתן להפיק מצרכן המחובר בטור לסוללה? סרטטו מעגל מתאים.

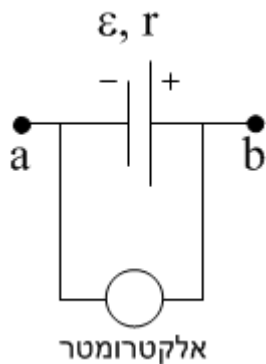
לסוללה משומשת מאוד יש התנגדות פנימית גבוהה.

מחברים לסוללה וולטמטר ואחר כך אלקטרומטר (המאפשר מדידת מתח תוך כדי מעבר זרם זניח דרכו). במקרה הראשון הקריאה היא $1.4[V]$ ובמקרה השני הקריאה היא $1.55[V]$. התנגדות הוולטמטר היא $280[\Omega]$.



א- סרטנו מעגלים מתאימים לנתוני הבעיה.

את הוולטמטר מחברים במקביל לסוללה, כך שימדוד את הפרש הפוטנציאלים בין a ל-b, שהם למעשה הדקי הסוללה.



חיבור האלקטרומטר, כמוהו כמצב בו אין כלל זרם במעגל, כלומר:

ב- מהו הכא"מ של הסוללה?

◀ כאמור בנתוני השאלה, קריאת האלקטרומטר היא במצב בו ניתן להניח כי לא זורם זרם במעגל, ולכן אם נתון כי $V_{ab}=1.55[V]$, הרי שכא"מ הסוללה הוא גם כן $1.55[V]$.

◀ ניזכר בקשר:

$$V_{ab} = \mathcal{E} - Ir$$

$$I = 0$$

$$V_{ab} = \mathcal{E}$$

◀ כלומר במקרה זה אין מפל מתח Ir בתוך הסוללה.

ג- חשבו את ההתנגדות הפנימית של הסוללה.

◀ כאשר מחברים את הוולטמטר זורם זרם במעגל.

◀ הואיל והוולטמטר מחובר במקביל אל הסוללה, המתח עליו שווה למתח ההדקים שהוא מודד.

$$V_{ab} = IR_{\text{voltmeter}}$$

$$1.4 = I \cdot 280$$

$$I = 0.005[A]$$

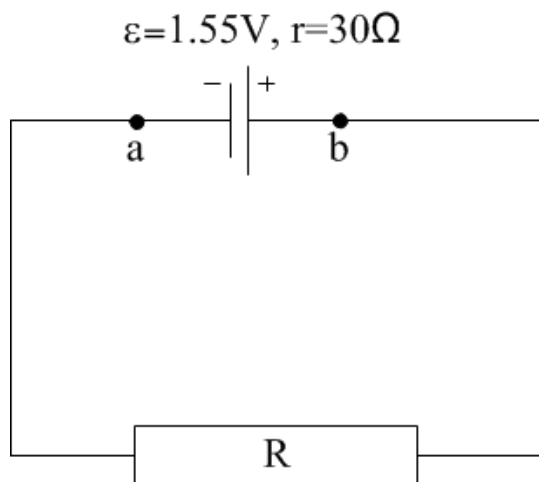
◀ כעת נוכל לחשב את ההתנגדות הפנימית של הסוללה:

$$V_{ab} = \mathcal{E} - Ir$$

$$1.4 = 1.55 - 0.005r$$

$$r = 30[\Omega]$$

ד- מהו ההספק המקסימלי שניתן להפיק מצרכן המחובר בטור לסוללה? סרטטו מעגל מתאים.



כאשר נחבר נגד למעגל הוא ייראה כבתרשים משמאל:

במקרה זה ההספק המתפתח על הנגד החיצוני R הוא:

$$P = I^2 R$$

$$P = \left(\frac{\varepsilon}{r + R} \right)^2 \cdot R$$

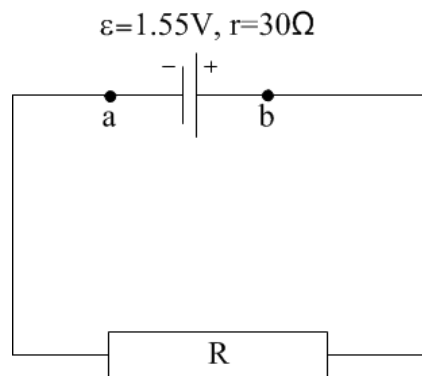
שימו לב כי מתקיים:

$$(r + R)^2 - (r - R)^2 = 4rR$$

נשתמש בקשר זה על מנת להחליף את R בביטוי של ההספק P :

$$R = \frac{(r + R)^2 - (r - R)^2}{4r} = \frac{4rR}{4r} = R$$

ד- מהו ההספק המקסימלי שניתן להפיק מצרכן המחובר בטור לסוללה? סרטטו מעגל מתאים.



◀ כעת נשנה את הביטוי של ההספק באופן הבא:

$$P = \left(\frac{\varepsilon}{r+R} \right)^2 \cdot R = \left(\frac{\varepsilon}{r+R} \right)^2 \left[\frac{(r+R)^2 - (r-R)^2}{4r} \right] = \frac{\varepsilon^2}{4r} \left[\frac{(r+R)^2 - (r-R)^2}{(r+R)^2} \right]$$

$$P = \frac{\varepsilon^2}{4r} \left[1 - \frac{(r-R)^2}{(r+R)^2} \right]$$

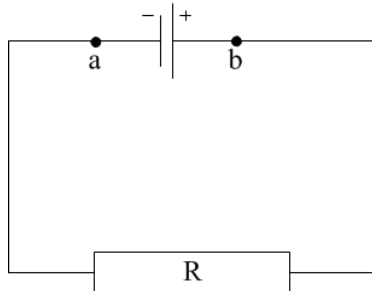
◀ ניתן לראות כי ההספק המקסימלי מתקבל כאשר $r=R$, כלומר כאשר הנגד החיצוני שווה ל- $30[\Omega]$.

◀ ההספק על נגד זה יהיה:

$$P = I^2 R$$

$$P = \left(\frac{\varepsilon}{r+R} \right)^2 \cdot R = \left(\frac{1.55}{30+30} \right)^2 \cdot 30 = 0.02[\text{W}]$$

$$\varepsilon = 1.55\text{V}, r = 30\Omega$$



פתרון 5 סעיף ד

הצעת פתרון נוספת לסעיף ד

$$P = \left(\frac{\varepsilon}{r + R} \right)^2 \cdot R \quad \text{קיבלנו} \quad \blacktriangleleft$$

נשאלנו מהו R עבורו P מקסימלי. נגזור את P לפי R ונשווה את הנגזרת לאפס: $\blacktriangleleft$

$$P' = \left(\frac{\varepsilon}{r + R} \right)^2 \cdot 1 + 2 \cdot \left(\frac{\varepsilon}{r + R} \right) \cdot \left(\frac{-\varepsilon}{(r + R)^2} \right) \cdot R = 0$$

$$\frac{\varepsilon^2}{(r + R)^2} - \frac{2 \cdot R \cdot \varepsilon^2}{(r + R)^3} = 0 \qquad \frac{\varepsilon^2 \cdot (r + R)}{(r + R)^3} - \frac{2 \cdot R \cdot \varepsilon^2}{(r + R)^3} = 0$$

$$\frac{\varepsilon^2 \cdot (r + R) - 2 \cdot R \cdot \varepsilon^2}{(r + R)^3} = 0$$

$$\varepsilon^2 \cdot (r + R) - 2 \cdot R \cdot \varepsilon^2 = 0$$

$$\varepsilon^2 \cdot (r + R - 2 \cdot R) = 0$$

$$\varepsilon^2 \cdot (r - R) = 0$$

$$R = r$$

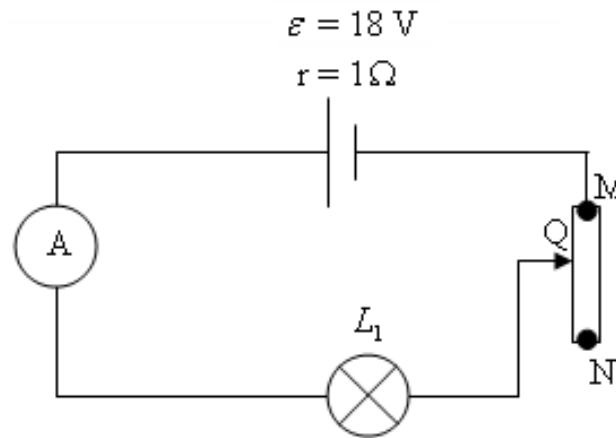
מבדיקה עולה שקיבלנו נקודת מקסימום כנדרש. נשאר להציב את $R = r$ בנוסחת ההספק ולקבל $P = 0.02 \text{ [W]}$ $\blacktriangleleft$

על כל אחת משתי נורות זהות, L_1 ו- L_2 , רשום $6[V]$, $3[W]$.

בתרשים א מוצג מעגל חשמלי הכולל את אחת הנורות, L_1 , מקור מתח שהכא"מ שלו $\varepsilon=18[V]$ והתנגדותו הפנימית $r=1[\Omega]$, נגד משתנה MN , שהתנגדותו המרבית $30[\Omega]$ ואמפרמטר שהתנגדותו ניתנת להזנחה.

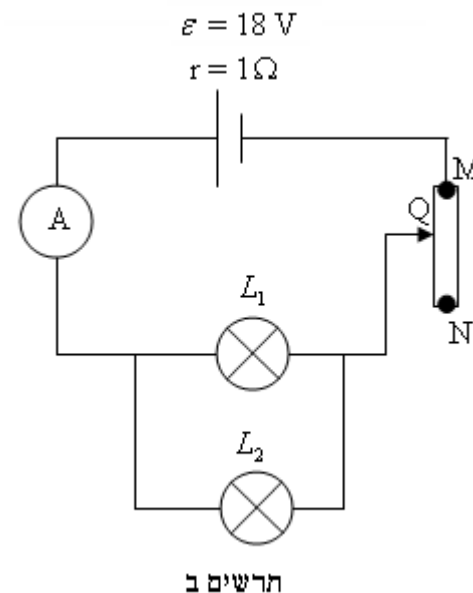
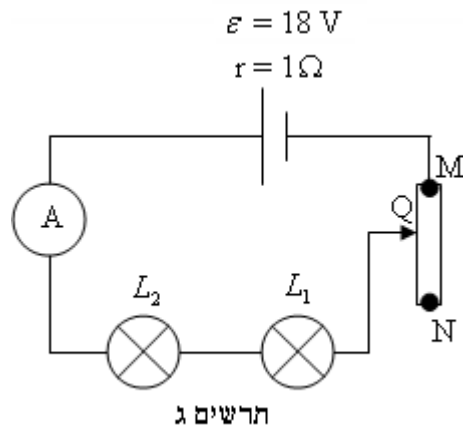
א- דנה בונה את המעגל החשמלי המתואר בתרשים א'. באיזה קצה של הנגד המשתנה עליה להציב את המגע הנייד, Q , של נגד זה לפני שהיא סוגרת את המעגל החשמלי – בקצה M או בקצה N ? נמקו.

ב- לאיזה התנגדות יש להביא את הנגד המשתנה כדי שנורה L_1 תאיר באורה המלא?



תרשים א

ג- בונים שני מעגלים חשמליים נוספים: תחילה בונים את המעגל החשמלי המוצג בתרשים ב, שבו שתי הנורות מחוברות במקביל, ואחר כך בונים את המעגל החשמלי המתואר בתרשים ג, שבו שתי הנורות מחוברות בטור. בשני המעגלים כל נורה מאירה באורה המלא. ההספק של כל אחת משתי הנורות בתרשים ב שווה להספק של כל אחת משתי הנורות שבתרשים. מדוע, למרות זאת, ההספק הכולל במעגל החשמלי המתואר בתרשים ב גדול מההספק הכולל במעגל החשמלי המתואר בתרשים ג?



ד- כיצד, בדרך כלל, מחברים נורות בבתיים פרטיים – במקביל (כמו בתרשים ב) או בטור (כמו בתרשים ג)? הסבר את הסיבה לכך.

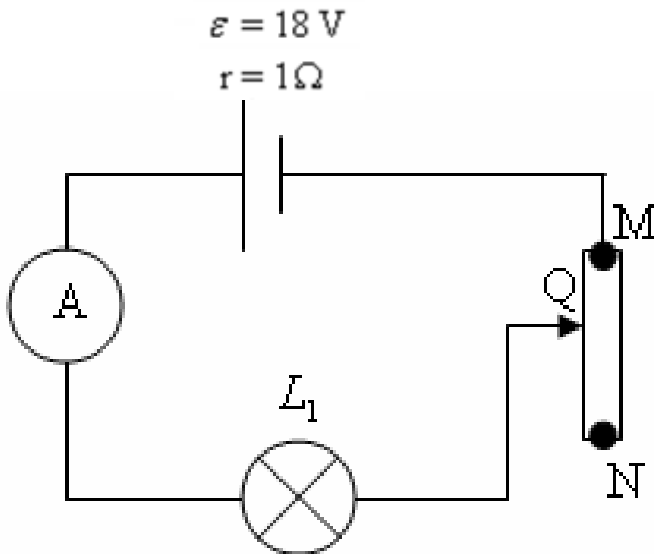
על כל אחת משתי נורות זהות, L_1 ו- L_2 , רשום $6[V]$, $3[W]$.

בתרשים א מוצג מעגל חשמלי הכולל את אחת הנורות, L_1 , מקור מתח שהכא"מ שלו $\varepsilon = 18 [V]$ והתנגדותו הפנימית $r=1[\Omega]$, נגד משתנה MN , שהתנגדותו המרבית $30[\Omega]$ ואמפרמטר שהתנגדותו ניתנת להזנחה.

א- דנה בונה את המעגל החשמלי המתואר בתרשים א'. באיזה קצה של הנגד המשתנה עליה להציב את המגע הנייד, Q , של נגד זה לפני שהיא סוגרת את המעגל החשמלי – בקצה M או בקצה N ? נמקו.

את המגע הנייד Q יש להציב בנקודה N .

הצבתו בנקודה N תגרום לכך שההתנגדות השקולה תהיה מקסימלית וכך הזרם יהיה נמוך והסיכוי שהנורה תישרף יקטן.



ב- לאיזה התנגדות יש להביא את הנגד המשתנה כדי שנורה L_1 תאיר באורה המלא?

◀ בתנאים של הארה באור מלא:

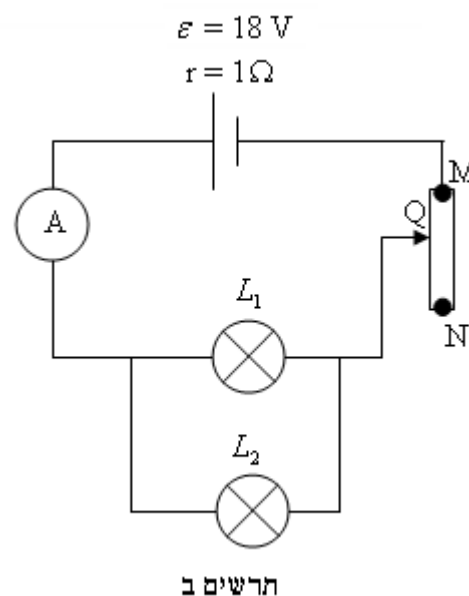
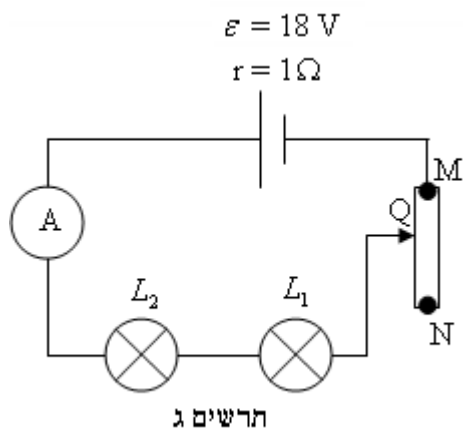
$$P = V \cdot I \Rightarrow I = \frac{P}{V} = \frac{3}{6} = 0.5[A]$$

$$V = I \cdot R_L \Rightarrow R_L = \frac{V}{I} = \frac{6}{0.5} = 12[\Omega]$$

◀ נחשב את R_x :

$$\varepsilon = I \cdot (r + R_L + R_x) \Rightarrow 18 = 0.5 \cdot (1 + 12 + R_x) \Rightarrow R_x = 23[\Omega]$$

ג- מדוע, למרות זאת, ההספק הכולל במעגל החשמלי המתואר בתרשים ב' גדול מההספק הכולל במעגל החשמלי המתואר בתרשים ג?

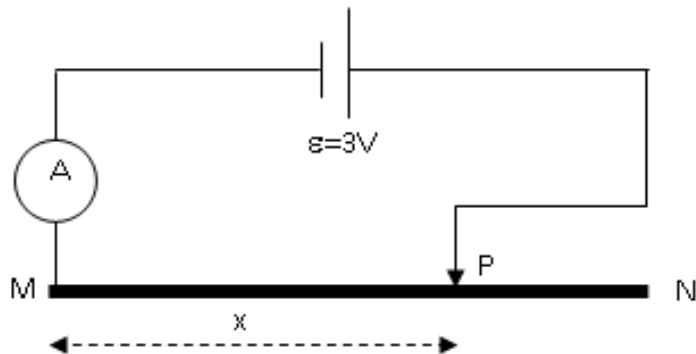


- מאחר שבשני המקרים הנורות מאירות באורן המלא, הרי שדרך כל נורה עובר זרם של $0.5[A]$. לכן, דרך הסוללה יעבור זרם של $1[A]$ במעגל המתואר בתרשים ב', וזרם של $0.5[A]$ במעגל המתואר בתרשים ג'.
- מאחר שבמעגל של תרשים ב' הזרם העובר דרך הסוללה גדול יותר, ההספק הכולל (השווה ל- ϵI) במעגל זה יהיה גדול יותר.

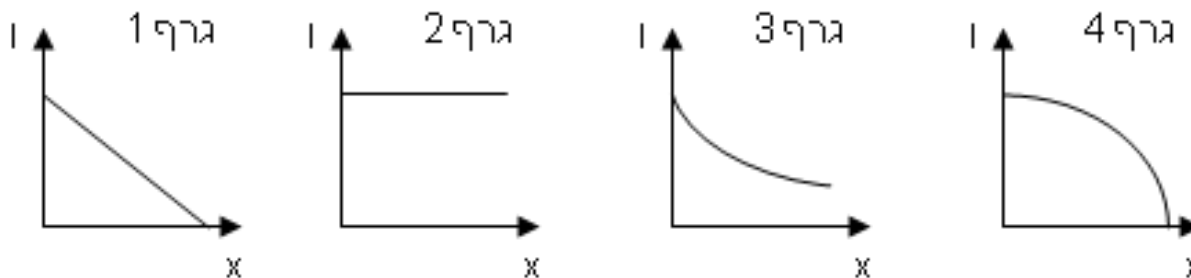
ד- כיצד, בדרך כלל, מחברים נורות בבתים פרטיים – במקביל (כמו בתרשים ב) או בטור (כמו בתרשים ג)?
הסבירו את הסיבה לכך.

◀ בבתים מחברים את הנורות במקביל, כי כך על כל נורה יהיה מתח הרשת כפי שנדרש לנורות.
בנוסף לכך, ניתוקה של אחת מהנורות לא יגרום לניתוק שאר הנורות בבית.

תלמיד בנה מעגל חשמלי, כמתואר בתרשים שלפניך, הכולל:
 מקור מתח שהכא"מ שלו $3V$ והתנגדותו הפנימית אינה ידועה;
 תילים מוליכים שהתנגדותם זניחה;
 אמפרמטר אידיאלי A ותיל אחיד MN , שהתנגדותו אינה זניחה ואורכו 1 מטר.
 P הוא מגע נייד, שאפשר להזיז לאורך התיל MN .
 x הוא אורך הקטע MP של התיל.
 התלמיד שינה כמה פעמים את מקומו של המגע הנייד P לאורך התיל (כלומר את האורך x), ובכל פעם מדד את הזרם I .
 כאשר x היה שווה לאפס הוראת האמפרמטר הייתה $3[A]$.



א- איזה מבין הגרפים 1-4 שלפניך מתאר בצורה נכונה את עוצמת הזרם I כפונקציה של x ? הסבירו.



א- איזה מבין הגרפים 1-4 שלפניך מתאר בצורה נכונה את עוצמת הזרם I כפונקציה של x ? הסבירו.

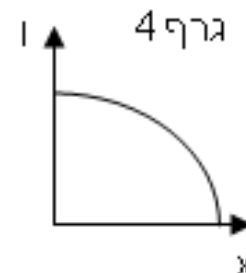
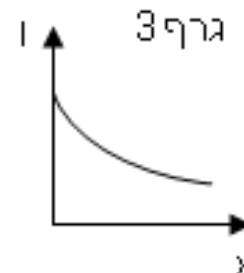
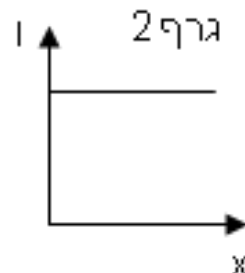
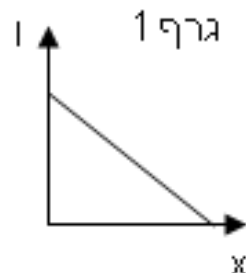
▶ התשובה היא: גרף 3.

▶ כאשר ההתנגדות גדלה, הזרם יורד אך הוא לא יכול להגיע לאפס כי התנגדות התיל MN סופית.

▶ דרך אחרת. מהביטוי עבור הזרם:

$$I = \frac{\varepsilon}{r + x \cdot \frac{\rho}{A}}$$

▶ ככל ש- x גדל I קטן ($r, \varepsilon, \rho/A$ קבועים), הזרם אינו מתאפס.



ב- חשבו את ההתנגדות הפנימית של מקור המתח.

ג- עבור $x = 0.1 \text{ [m]}$ הוראת האמפרמטר הייתה 1.5 [A]

(1) חשבו את עוצמת הזרם במעגל כאשר $x = 1 \text{ [m]}$.

(2) חשבו את המתח בין M ל-P כאשר $x = 1 \text{ [m]}$.

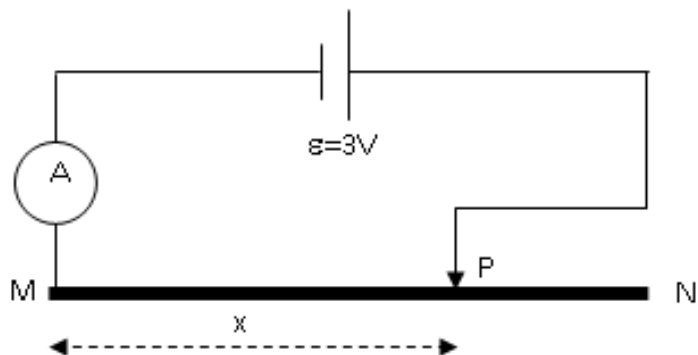
התלמיד חזר על הניסוי עם תיל אחר (במקום התיל MN), שגם אורכו 1 m והוא עשוי מאותו חומר כמו התיל MN, אך שטח החתך שלו קטן מזה של התיל MN.

ד- עבור $x = 0$, האם הוראת האמפרמטר בניסוי עם התיל השני הייתה גדולה מזו שבניסוי עם התיל הראשון, קטנה ממנה או שווה לה? נמק.

התלמיד שינה כמה פעמים את מקומו של המגע הנייד P לאורך התיל (כלומר את האורך x), ובכל פעם מדד את הזרם I .

כאשר x היה שווה לאפס הוראת האמפרמטר הייתה $3[A]$.

ב- חשבו את ההתנגדות הפנימית של מקור המתח.



נתון: כאשר $x=0$ הזרם $I=3[A]$ ◀

$$r = \frac{\varepsilon}{I} = \frac{3}{3} = 1[\Omega]$$

ג- עבור $x = 0.1[m]$ הוראת האמפרמטר הייתה $1.5[A]$
(1) חשבו את עוצמת הזרם במעגל כאשר $x = 1[m]$.

כאשר $x = 0.1[m]$ $I = 1.5[A]$. נציב בביטוי עבור הזרם ונמצא את ההתנגדות ליחידת אורך ($\lambda = \rho/L$) של התיל:

$$I = \frac{\varepsilon}{r + x \cdot \lambda}$$

$$1.5 = \frac{3}{1 + 0.1 \cdot \lambda} \Rightarrow \lambda = 10 \left[\frac{\Omega}{m} \right]$$

נמצא את הזרם I כאשר $x = 1[m]$:

$$I = \frac{\varepsilon}{r + x \cdot \lambda} = \frac{3}{1 + 1 \cdot 10} = \frac{3}{11} A = 0.273[A]$$

(2) חשבו את המתח בין M ל- P כאשר $x = 1[m]$.

המתח בין M ל- P כאשר $x = 1[m]$:

$$V = I \cdot R = 0.273 \cdot 10 = 2.73[V]$$

$$V = \varepsilon - I \cdot R = 3 - \frac{3}{11} \cdot 1 = 2.73[V]$$

בדרך אחרת:

ד- עבור $x = 0$, האם הוראת האמפרמטר בניסוי עם התיל השני הייתה גדולה מזו שבניסוי עם התיל הראשון, קטנה ממנה או שווה לה? נמקו.
מה יקרה כאשר $x=1$?

◀ במצב $x=0$ הזרם לא ישתנה, מכיוון שאין תלות של הזרם בנגד החיצוני.

◀ במצב $x=1$ m, הואיל ושטח החתך בתיל החדש קטן יותר, ההתנגדות גדולה יותר ולכן הזרם קטן.