

אלקטרוסטטיקה ואלקטרודינמיקה

תרגילי חזרה



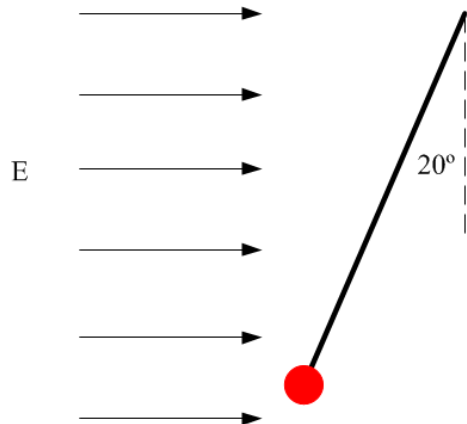
Image courtesy of Stuart Miles at FreeDigitalPhotos.net

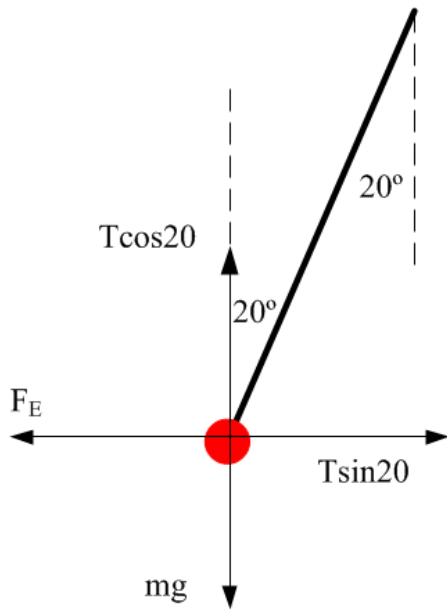
שדה חשמלי אופקי של 700 [V/m] פועל במגמה ימינה.

כדור שמסתו 0.6 גרם מצוי בתוך השדה ותלוי בקצה חוט כמוראה באיור.

א- מה צריך להיות גודל המטען של הכדור על מנת שהכדור ימצא בשיווי משקל?

ב- מה סימנו של המטען שעל הכדור?





א- מה צריך להיות גודל המטען של הכדור על מנת שהכדור יימצא בש"מ?

◀ על הכדור פועלים שלושה כוחות: משקלו, המתיחות בחוט והכוח החשמלי.

◀ נפרק את הכוח T לרכיבים, ונרשום את משוואות שווי המשקל (כיוונו של הכוח החשמלי הוא ימינה, כי הוא מסיט את הכדור מהאנך):

$$\begin{cases} \Sigma F_x = T \sin 20^\circ - F_E = 0 \\ \Sigma F_y = T \cos 20^\circ - mg = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} T \sin 20^\circ = F_E \\ T \cos 20^\circ = mg \end{cases}$$

$$T = \frac{mg}{\cos 20^\circ}$$

◀ מהמשוואה השנייה נקבל:

◀ נציב במשוואה הראשונה:

$$mg \tan 20^\circ = F_E$$

◀ על מנת לחשב את גודל המטען נבטא את הכוח החשמלי ונציב במשוואה שקיבלנו:

$$mg \tan 20^\circ = F_E = qE$$

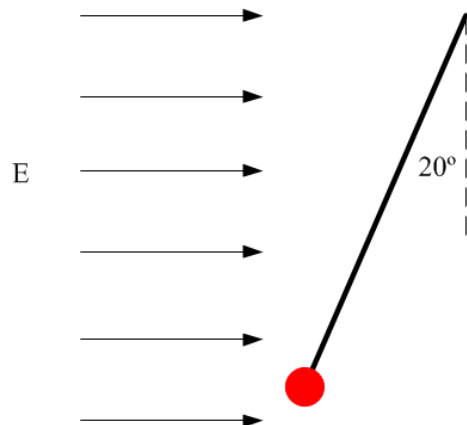
$$q = \frac{mg \tan 20^\circ}{E} = \frac{0.0006 \cdot \tan 20^\circ}{700}$$

$$q = 0.31 [\mu C]$$

ב- מה סימנו של המטען שעל הכדור?

◀ כיוונו של השדה החשמלי הוא ככיוון הכוח הפועל על מטען חיובי.

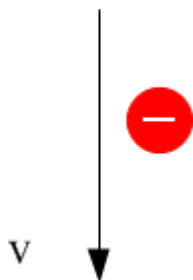
◀ הואיל והשדה מכוון ימינה והכדור נמשך שמאלה, סימנו של מטען הכדור הוא שלילי.



טיפת שמן הנושאת מטען חשמלי שלילי השווה ל- $6 \cdot 10^{-12}$ [g] ובעלת מסה של $1.6 \cdot 10^{-12}$ [g], נופלת באוויר במהירות קבועה.

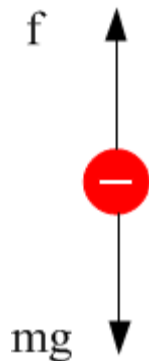
א- הסבירו, כיצד ייתכן שהטיפה נופלת במהירות קבועה.

ב- מה גודלו וכיוונו של שדה חשמלי (המאונך לקרקע), והדרוש על מנת שהטיפה תנוע כלפי מעלה באותה מהירות?



א- הסבירו, כיצד ייתכן שהטיפה נופלת במהירות קבועה.

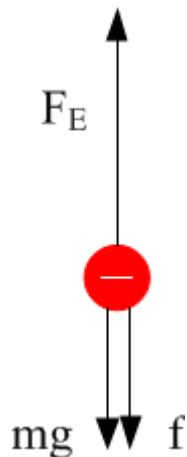
במהלך נפילתה מטה, פועלים על הטיפה שני כוחות: משקלה וכוח החיכוך באוויר. על מנת שהטיפה תיפול במהירות קבועה, כוחות אלה צריכים להיות שווים בגודלם ומנוגדים בכיוונם.



$$\Sigma F_y = 0$$

$$f - mg = 0$$

$$f = mg$$



ב- מה גודלו וכיוונו של שדה חשמלי (המאונך לקרקע), והדרוש על מנת שהטיפה תנוע כלפי מעלה באותה מהירות?

כאשר הטיפה נעה כלפי מעלה כוח החיכוך פועל כלפי מטה (מנוגד לכיוון התנועה). לכן, הואיל וגם הפעם הטיפה נעה במהירות קבועה, משוואת הכוחות היא:

$$\Sigma F_y = 0$$

$$F_E - f - mg = 0$$

$$F_E = f + mg$$

מהסעיף הקודם קיבלנו כי במהירות הנתונה מתקיים: $f = mg$ (הואיל וכל הגורמים בשאלה קבועים, כוח החיכוך תלוי רק בגודל מהירות הטיפה, שהיא שווה בשני המקרים):

$$F_E = f + mg$$

$$F_E = 2mg = 2 \cdot 1.6 \cdot 10^{-15} \cdot 10 [N]$$

נחשב את השדה הנדרש, על סמך הנתון שמטען הטיפה שווה למטענם של 6 אלקטרונים:

$$E = \frac{F_E}{q}$$

$$E = \frac{2 \cdot 10 \cdot 1.6 \cdot 10^{-15}}{6 \cdot 1.6 \cdot 10^{-19}} = 33,333 \left[\frac{N}{C} \right]$$

נתון כדור מוליך מלא, שרדיוסו 4.5 [cm] . טוענים את הכדור עד לפוטנציאל של $1,000 \text{ [V]}$.

א- חשבו את מטען הכדור.

ב- היכן נמצא המטען שחישבתם – במרכז הכדור, בכל נפח הכדור או רק על פניו?

מציבים כדור מוליך חלול, שאינו טעון, במרחק גדול מאוד מהכדור המוליך המלא. רדיוס הכדור החלול הוא 9 [cm] . מחברים את שני הכדורים זה לזה בחוט מוליך ארוך ודק, ומחכים זמן ארוך מאוד.

ג- חשבו את פוטנציאל הכדור המלא במצב זה.

מנתקים את החוט המחבר בין הכדורים, ומכניסים את הכדור המלא של תוך הכדור החלול, כך שלשניהם מרכז משותף.

ד- חשבו את עוצמת השדה החשמלי בנקודה C, הנמצאת במרחק 6 [cm] מהמרכז המשותף. פרטו בתשובתכם איזה חלק מעוצמת השדה בנקודה זו יוצר כל אחד מהכדורים.

ה- חשבו את הפוטנציאל בנקודה C.

נתון כדור מוליך מלא, שרדיוסו 4.5 [cm] . טוענים את הכדור עד לפוטנציאל של $1,000 \text{ [V]}$.
א- חשבו את מטען הכדור.

$$r = 4.5 \text{ [cm]}$$

$$V = 1,000 \text{ [V]}$$

$$V = \frac{k \cdot q}{r} \Rightarrow q = \frac{V \cdot r}{k} = \frac{10^3 \cdot 4.5 \cdot 10^{-2}}{9 \cdot 10^9} = 5 \cdot 10^{-9} \text{ [C]}$$

ב- היכן נמצא המטען שחישבת – במרכז הכדור, בכל נפח הכדור או רק על פניו?

◀ המטען נמצא רק על פני הכדור. (הוכחה בעזרת חוק גאוס)

ג- חשבו את פוטנציאל הכדור המלא במצב זה.

נסמן q_1, q_1' מטען הכדור המלא לפני ואחרי החיבור. נסמן q_2, q_2' מטען הכדור החלול לפני ואחרי החיבור. משימור המטען לפני ואחרי החיבור נקבל:

$$q_1 + q_2 = q_1' + q_2' \Rightarrow 5 \cdot 10^{-9} = q_1' + q_2'$$

משוויון פוטנציאלים לאחר החיבור:

$$V_1' = V_2'$$

$$\frac{k \cdot q_1'}{r_1} = \frac{k \cdot q_2'}{r_2} \Rightarrow q_1' = \frac{r_1}{r_2} \cdot q_2' = \frac{4.5}{9} \cdot q_2' = \frac{1}{2} \cdot q_2'$$

$$5 \cdot 10^{-9} = q_1' + q_2' = \frac{1}{2} q_2' + q_2' = 1.5 \cdot q_2'$$

$$q_2' = 3.33 \cdot 10^{-9} [C]$$

$$q_1' = 0.5 \cdot q_2' = 0.5 \cdot 3.33 \cdot 10^{-9} = 1.67 \cdot 10^{-9} [C]$$

$$V_1' = \frac{k \cdot q_1'}{r_1} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 1.67 \cdot 10^{-9}}{4.5 \cdot 10^{-2}} = 333.33 [V]$$

ד- חשבו את עוצמת השדה החשמלי בנקודה C, הנמצאת במרחק [cm] 6 מהמרכז המשותף. פרטו בתשובתכם איזה חלק מעוצמת השדה בנקודה זו יוצר כל אחד מהכדורים.

$$E = E_1 + E_2$$

$$E_2 = 0$$

$$q_1' = 1.67 \cdot 10^{-9} [C]$$

$$E_1 = \frac{k \cdot q_1'}{r^2} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 1.67 \cdot 10^{-9}}{(6 \cdot 10^{-2})^2} = 4,175 \left[\frac{N}{C} \right]$$

ה- חשבו את הפוטנציאל בנקודה C.

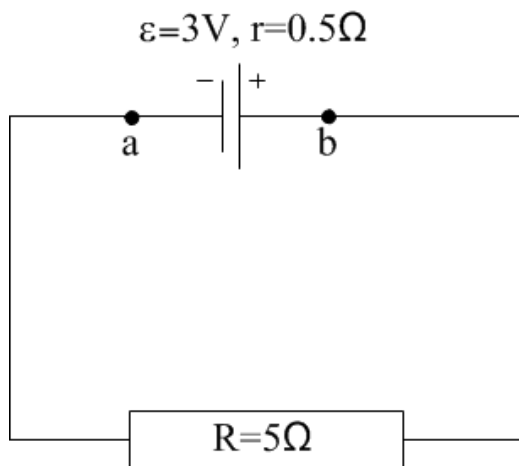
$$V_c = V_1 + V_2, \quad V_1 = \frac{k \cdot q_1'}{0.06}, \quad V_2 = \frac{k \cdot q_2'}{0.09}$$

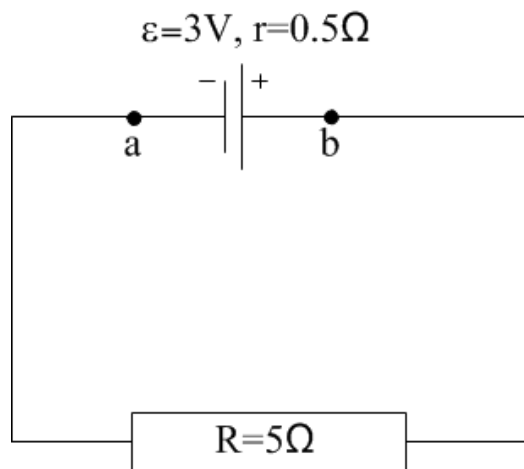
$$V_c = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 1.6667 \cdot 10^{-9}}{0.06} + \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 3.3333 \cdot 10^{-9}}{0.09} = 583.33[V]$$

נתון מעגל חשמלי ובו מקור מתח הכולל התנגדות פנימית ונגד חיצוני (ראו תרשים).

א- מהו מתח ההדקים של הסוללה?

ב- הראו כי ההספק המתפתח בסוללה שווה להספק המופק בנגדים.





א- מהו מתח ההדקים של הסוללה?

◀ את מתח ההדקים נחשב על פי הקשר:

$$V_{ab} = \varepsilon - Ir$$

◀ לצורך זה נחשב את הזרם במעגל:

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r} = \frac{3}{5.5} = 0.545[A]$$

◀ נציב, ונקבל:

$$V_{ab} = \varepsilon - Ir$$

$$V_{ab} = 3 - 0.545 \cdot 0.5 = 2.75[V]$$

ב- הראו כי ההספק המתפתח בסוללה שווה להספק המופק בנגדים.

◀ נחשב תחילה את ההספק של מקור המתח:

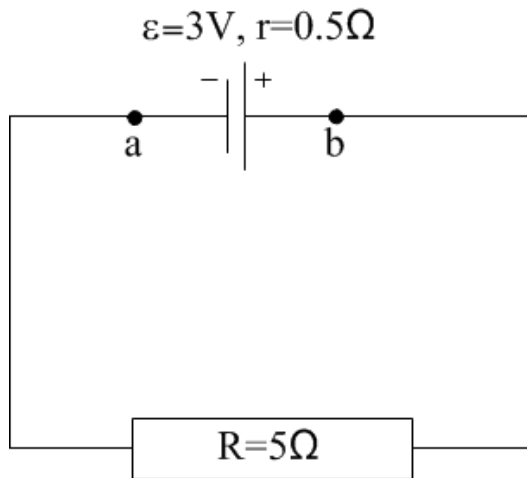
$$P = IV$$

$$P = 0.545 \cdot 3 = 1.63[W]$$

◀ ההספק המתפתח בנגד החיצוני ובהתנגדות הפנימית הוא:

$$P = I^2 \cdot (r + R)$$

$$P = 0.545^2 \cdot (5.5) = 1.63[W]$$



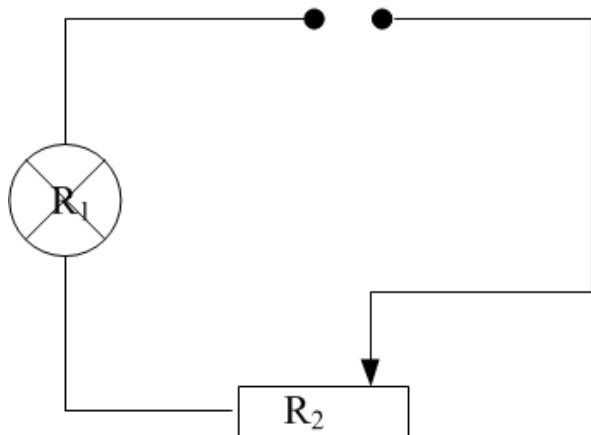
לנורה בעלת התנגדות $R_1=144[\Omega]$ מחברים בטור נגד משתנה R_2 . לאחר מכן מחברים למעגל מקור מתח של 120 וולט. הנגד המשתנה מאפשר לשלוט בעוצמת האור של הנורה.

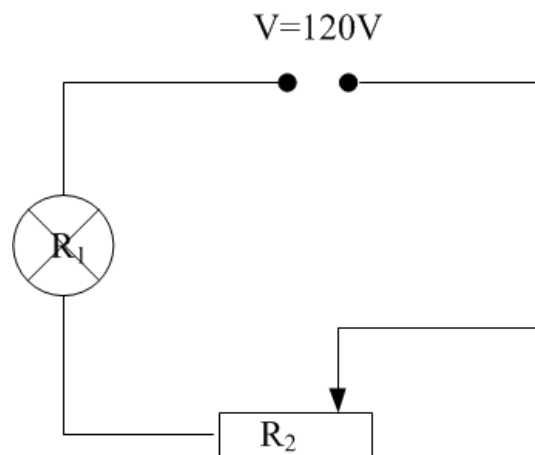
א- מהו הספק הנורה כשהנגד המשתנה מראה 0 אום?

ב- מהו הספק הנורה כשהנגד המשתנה מראה 144 אום?

ג- מה צריכה להיות התנגדות הנגד המשתנה אם הספק הנורה הוא 50 ווט?

$V=120V$





א- מהו הספק הנורה כשהנגד המשתנה מראה 0 אום?

במצב זה ההתנגדות במעגל היא רק של הנורה. נחשב את הזרם העובר דרכה:

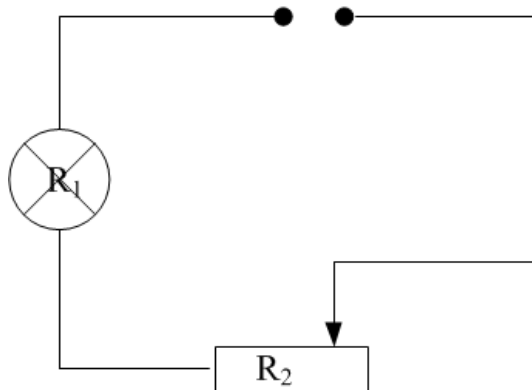
$$I = \frac{\varepsilon}{R_1} = \frac{120}{144} = 0.833[A]$$

ולכן ההספק בנורה:

$$P = I^2 R_1 = 0.833^2 \cdot 144$$

$$P = 100[W]$$

V=120V



ב- מהו הספק הנורה כשהנגד המשתנה מראה 144 אום?

$$I = \frac{\varepsilon}{R_1 + R_2} = \frac{120}{288} = 0.416 [A]$$

$$P = I^2 R_1 = 0.416^2 \cdot 144$$

$$P = 25 [W]$$

ג- מה צריכה להיות התנגדות הנגד המשתנה אם הספק הנורה הוא 50 ווט?

◀ נחשב תחילה את הזרם בנורה:

$$P = I^2 R_1$$

$$I = \sqrt{\frac{P}{R_1}} = \sqrt{\frac{50}{144}} [A]$$

$$I = 0.589 [A]$$

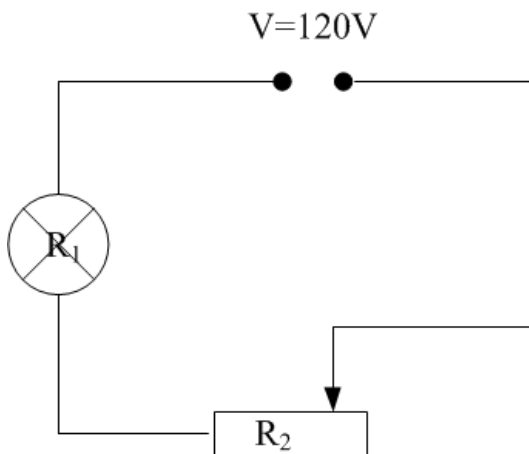
◀ נחשב את גודלו של הנגד המשתנה הנדרש על מנת לקבל זרם זה:

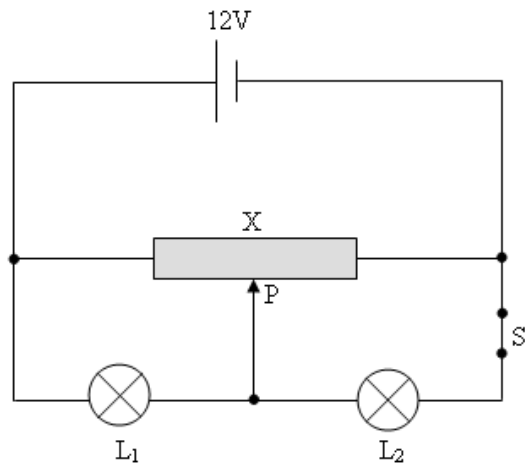
$$I = \frac{\mathcal{E}}{R_1 + R_2}$$

$$I = \frac{120}{144 + R_2} = 0.589$$

$$120 = 0.589 \cdot (144 + R_2)$$

$$R_2 = \frac{120}{0.589} - 144 = 59.7 [\Omega]$$





התרשים שלפניכם מתאר מעגל חשמלי, הכולל סוללה של $12[V]$ והתנגדות הפנימית ניתנת להזנחה; נגד משתנה X , שהתנגדותו הכוללת $100[\Omega]$; נורות L_1 ו- L_2 , שעל כל אחת מהן רשום הסימון $18[W]$ $6[V]$; ומפסק S .

המגע הנייד P של הנגד המשתנה X מחלק את התנגדות הנגד המשתנה לשתי התנגדויות שוות.

א- מהי משמעות הסימון $18[W]$ $6[V]$, הרשום על הנורות?

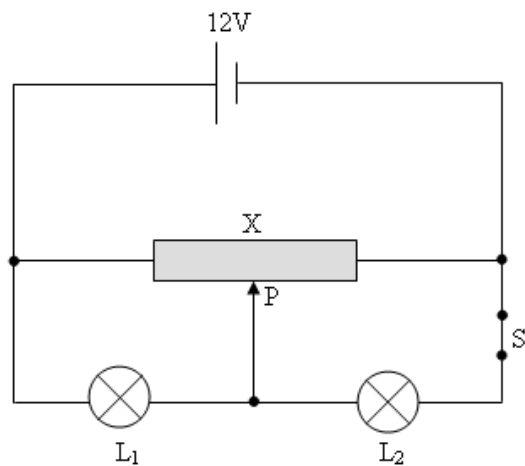
ב- חשבו את ההתנגדות של כל נורה כאשר היא מופעלת באורה המלא

(בהתאם לרשום עליה).

ג- האם נורה L_1 מאירה באורה המלא במצב המתואר בתרשים? הסבירו.

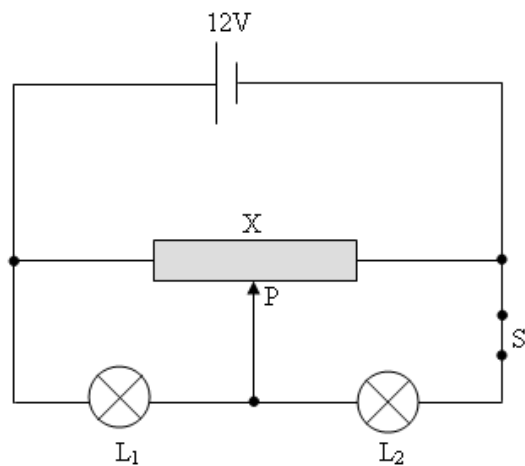
ד- מה תהיה ההשפעה של פתיחת המפסק S על עוצמת האור שתיפלט

מנורה L_1 ? הסבירו (תוכלו להניח שהתנגדות הנורות נשארת קבועה).



א- מהי משמעות הסימון $18[W]$ $6[V]$, הרשום על הנורות?

◀ המשמעות היא: כאשר מחברים את הנורה למתח של $6V$, ההספק שלה יהיה $18V$.



ב- חשבו את ההתנגדות של כל נורה כאשר היא מופעלת באורה המלא (בהתאם לרשום עליה).

$$P = V \cdot I$$

$$V = I \cdot R \Rightarrow I = \frac{V}{R}$$

$$P = V \cdot \frac{V}{R} = \frac{V^2}{R} \Rightarrow R = \frac{V^2}{P} = \frac{6^2}{18} = 2[\Omega]$$

ג- האם נורה L_1 מאירה באורה המלא במצב המתואר בתרשים? הסבירו.

◀ כן. הנורה מאירה באורה המלא כי המתח הכולל על הנורות הוא $12[V]$. זאת, מפני שהנורות זהות המתח בקצות כל נורה שווה ל- $6[V]$ לכן הנורה תאיר באורה המלא.

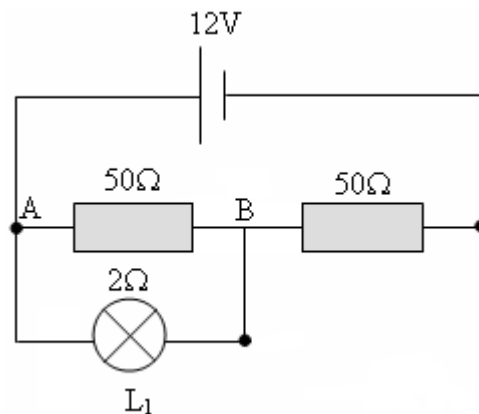
ד- מה תהיה ההשפעה של פתיחת המפסק S על עוצמת האור שתיפלט מנורה L_1 ? הסבר. (תוכל להניח שהתנגדות הנורות נשארת קבועה).

עוצמת האור של הנורה L_1 תפחת כתוצאה מפתיחת המפסק S. כעת הנורה L_1 מחוברת במקביל לנגד שהתנגדותו כך שההתנגדות השקולה של שניהם קטנה מ- 50 אום.

התנגדות שקולה זו מחוברת בטור לנגד שהתנגדותו 50 אום. מאחר והמתח הכולל הוא 12V, על ההתנגדות הקטנה יותר (של הנגד השקול) נופל מתח שהוא קטן מ- 6V, ולפיכך הספק הנורה L_1 יהיה קטן מ- 18W, והנורה תאיר בעוצמה קטנה מאשר באורה המלא.

דרכ אחרת:

נשרטט את המעגל החדש ונחשב:



$$R_{AB} = \frac{50 \cdot 2}{50 + 2} = 1.923[\Omega]$$

$$R_T = 1.923 + 50 = 51.923[\Omega]$$

$$I = \frac{12}{51.923} = 0.231[A]$$

$$V_{AB} = I \cdot R_{AB} = 0.231 \cdot 1.923 = 0.44V < 6V$$