פיזיקה 2ממ

פרק 13 - שדות של מטענים נעים

תוכן העניינים

הרצאות ותרגילים:

רקע:

הגדרת המטען:

$.q = \varepsilon_0 \oint \vec{E} \cdot \mathrm{d}\vec{s}$

המטען הוא גודל אינווריאנטי במעבר בין מערכות ייחוס.

שדה של מטען הנע במהירות קבועה:

$$E = \frac{kq}{r^2} \cdot \frac{(1-\beta^2)}{(1-\beta^2 \sin^2\theta)^{\frac{3}{2}}}$$

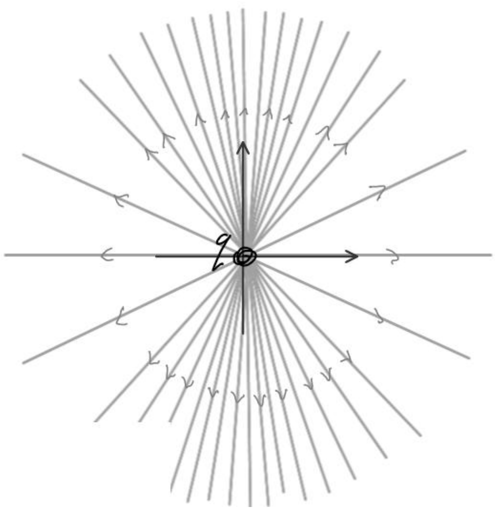
$$\beta = \frac{v}{c}$$

θ - היא הזווית בין המהירות לוקטור המיקום שבו מחפשים את השדה.

השדה הוא שדה לא משמר!

השדה של מטען הנמצא במנוחה זהה לשדה של חוק קולון "הרגיל".

קווי השדה:



שדה של מטען שעוצר בפתאומיות:

ניצור ספירה סביב הנקודה שבה נעצר המטען ברדיוס השווה למהירות האור כפול הזמן מתחילת התנועה.

- בתוך הספירה השדה יהיה שדה של מטען במנוחה.
- מחוץ לספירה השדה יהיה שדה של המטען כאילו הוא לא הפסיק את התנועה.
- עובי הספירה קשור לתהליך העצירה. השדה בתוך עובי הספירה הוא בערך בכיוון משיק לספירה.

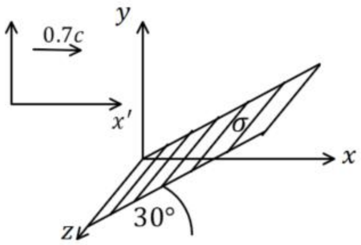
שדה של מטען שמתחיל תנועה בפתאומיות:
ניצור ספירה סביב הנקודה ממנה התחיל המטען לנוע ברדיוס השווה למהירות האור כפול הזמן מתחילת התנועה.

- בתוך הספירה השדה יהיה שדה של מטען הנע במהירות קבועה.
- מחוץ לספירה השדה יהיה שדה של המטען במנוחה (הנמצא בנקודת המוצא).
- עובי הספירה קשור לתהליך העצירה והשדה שם הוא בערך בכיוון משיק לספירה.

המקרה	השדה של המטען שמפעיל את הכוח	הכוח	הערות
שני המטענים במנוחה	שדה של מטען במנוחה	$Q\vec{E}$	
המטען שמפעיל את הכוח נע במהירות קבועה והמטען שמרגיש את הכוח במנוחה	שדה של מטען במהירות קבועה	$Q\vec{E}$	
המטען שמפעיל את הכוח במנוחה והמטען שמרגיש את הכוח נע במהירות קבועה	שדה של מטען במנוחה	$Q\vec{E}$	
שני המטענים נעים במהירות קבועה	שדה של מטען הנע במהירות קבועה	QE +תוספת. התוספת מגיעה משינוי מערכת הייחוס של המטען עליו פועל הכוח וניתן לתאר אותה באמצעות שדה נוסף כך שהיא שווה ל- $Q\vec{v}\times\vec{B}$	זה הנימוק של תורת היחסות להיווצרות השדה המגנטי, השדה המגנטי הוא בעצם אפקט הנוצר מהשינוי של השדה החשמלי בין מערכות הייחוס

שאלות:

1) דוגמה - מישור אינסופי בזווית



מישור דק וגדול מאוד טעון בצפיפות מטען σ.
צלע אחת של המישור מקבילה לציר ה-z
והצלע השנייה יוצרת זווית של 30 מעלות עם
ציר ה-x. המישור נמצא במנוחה במערכת המעבדה.
צופה נע במהירות 0.7c בכיוון ציר ה-x ביחס
למערכת המעבדה.

א. מצאו את הזווית של המישור כפי שמודד הצופה הנע.
ב. מצאו את צפיפות המטען במערכת של הצופה הנע ע"י טרנספורמציה של המטען ממערכת המעבדה.
ג. מצאו את השדה החשמלי במערכת המעבדה, השתמשו בטרנספורמציה של השדה ומצאו את השדה החשמלי במערכת הצופה הנע.
ד. וודאו כי חוק גאוס מתקיים גם במערכת הצופה שנע.

2) דוגמה - חישוב השדה בנקודות ספציפיות

מטען q נע במהירות קבועה βc ביחס למעבדה בכיוון החיובי ולאורך ציר ה-x.

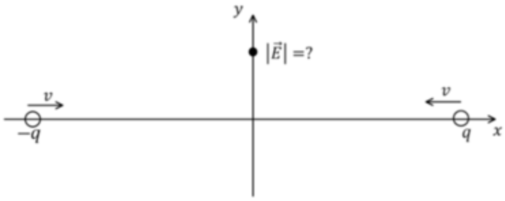
א. מהו השדה שמודד צופה הנמצא במערכת המטען במרחק a מהמטען ובזווית $\theta=90°$?
ב. מהו השדה באותה הנקודה עבור צופה במעבדה?
וודאו כי השדות מקיימים את טרנספורמציית המעבר.
ג. מהו השדה שמודד צופה הנמצא במערכת המטען במרחק a מהמטען ובזווית $\theta=0°$?
ד. מהו השדה באותה הנקודה עבור צופה במעבדה?
וודאו כי השדות מקיימים את טרנספורמציית המעבר.

3) דוגמה - שדה של תיל אינסופי הנע במהירות קבועה

תיל אינסופי נע במהירות קבועה ביחס למערכת המעבדה ובכיוון מקביל לתיל.
התיל טעון בצפיפות מטען λ ליחידת אורך הנמדדת במערכת המעבדה.
מצאו את השדה שיוצר התיל בכל המרחב על ידי סכימה על השדות שנוצרים מכל החתיכות של התיל.
הראו כי התוצאה שקיבלתם מתיישבת עם חוק גאוס.
לנוחיותך: $\int_{-\infty}^{\infty}(x^2+a^2)^{-3/2}\,dx=\frac{2}{a^2}$.

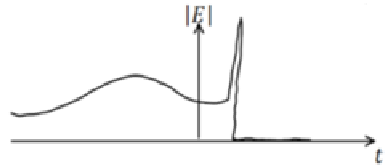
4) שני חלקיקים נעים אחד כלפי השני

שני חלקיקים בעלי מטענים הפוכים q ו-$-q$ נעים זה לקראת זה במהירויות קבועות $v\hat{x}$ ו-$-v\hat{x}$ על ציר ה-$\hat{x}$.
החלקיקים מתחילים את תנועתם בזמן $t=-\infty$ וב-$x=\pm\infty$.
ברגע $t=0$ הם מגיעים לראשית,
מתנגשים והופכים לחלקיק אחד נייטרלי.

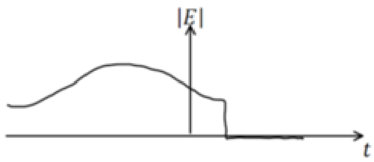


איזה מהגרפים הבאים מתאר בצורה הטובה ביותר את גודל השדה החשמלי כתלות בזמן בנקודה כלשהיא על ציר ה-y?

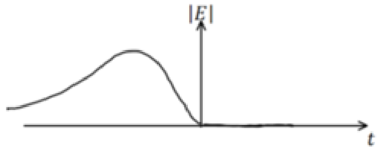
א.



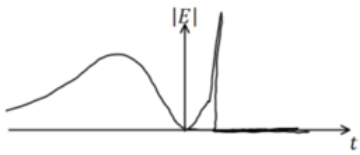
ב.



ג.

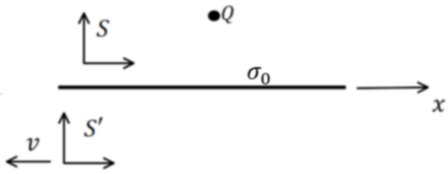


ד.



5) דוגמה - טרנספורמציה של שדה וכוח

מטען Q נמצא קרוב ללוח אינסופי הטעון בצפיפות מטען ליחידת שטח σ_0 (במערכת העצמית של הלוח) ונמצא על מישור xy.
המטען נמצא במנוחה במעבדה והלוח נע במהירות v בכיוון ציר ה-x השלילי.

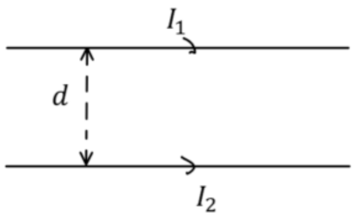


א. מהו השדה החשמלי שיוצר הלוח במערכת המעבדה? ומהו הכוח שמרגיש המטען?
ב. בצעו טרנספורמציה לכוח למערכת הלוח והראו כי במערכת הלוח מתקיים הקשר $\vec{F}=q\vec{E}$.

כעת הלוח עוצר ונמצא במנוחה במערכת המעבדה גם כן.

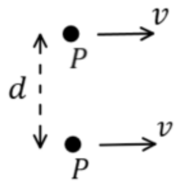
ג. מהו השדה החשמלי שיוצר הלוח במערכת המעבדה? ומהו הכוח שמרגיש המטען?
ד. בצעו טרנספורמציה לכוח ולשדה החשמלי אל מערכת הנע במהירות v בכיוון השלילי של ציר ה-x (אותה מערכת כמו בסעיף ב) .
הראו כי במערכת זו לא מתקיים הקשר $\vec{F}=q\vec{E}$.

6) דוגמה - כוח בין שני תיילים אינסופיים



שני תיילים מקבילים נושאים זרמים I_1 ו-I_2 באותו הכיוון. המרחק בין התיילים הוא d.
מצאו את הכוח הפועל ליחידת אורך על התיל התחתון (גודל וכיוון).

7) דוגמה - שני פרוטונים נעים במקביל



שני פרוטונים נעים במקביל במהירות זהה v.
המרחק בין הפרוטונים הוא d.

א. מצאו את השדה החשמלי שמפעיל הפרוטון העליון באיור על התחתון.

ב. מצאו את הכוח שפועל על אותו פרוטון באמצעות טרנספורמציה של הכוח ממערכת המנוחה של הפרוטונים והראו כי $\vec{F} \neq q\vec{E}$ במערכת המעבדה.

ג. הניחו שיש במערכת המעבדה שדה מגנטי לתוך הדף במיקומו של הפרוטון התחתון כך ש-$\vec{F} = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B}$.
מה צריך להיות גודלו של B?

8) חוק שלישי של ניוטון

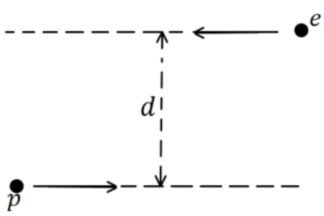
מטען q נמצא במנוחה בראשית.
מטען Q נע במהירות קבועה β לאורך הקו $y = d$.

א. מהו גודל הכוח כתלות ב-θ שפועל על Q?

ב. מהו גודל הכוח כתלות ב-θ שפועל על q?
יש לחשב את הכוח באופן מפורש ולאחר מכן להשוות לחוק השלישי של ניוטון.
אנחנו נראה בסרטון כי הכוחות לא שווים ונסביר את הקשר לחוק השלישי.

9) פרוטון ואלקטרון נעים במקביל

פרוטון ואלקטרון נעים במקביל ובכיוונים מנוגדים במערכת המעבדה.
המרחק המינימלי ביניהם הוא: $d = 10^{-10}\ \text{m}$ ו- $\gamma_p = \gamma_e = 50$.



א. מצאו את הערך המקסימאלי של השדה החשמלי הפועל על הפרוטון במערכת שלו.

ב. מצאו בקירוב, במשך כמה זמן השדה גדול מחצי מהערך המקסימאלי במערכת הפרוטון?
הניחו שמשך זמן זה קצר מאוד ולכן המרחק שעובר האלקטרון בזמן זה קטן מאוד ביחס ל-d.

תשובות סופיות:

1) א. $\theta' = 38.9°$ ב. $\sigma' = 1.26\sigma$

ג. $E_y' = -0.606\frac{\sigma}{\varepsilon_0}$, $E_x' = \frac{\sigma}{4\varepsilon_0}$, $E_y = -\frac{\sqrt{3}}{4}\frac{\sigma}{\varepsilon_0}$, $E_x = \frac{\sigma}{4\varepsilon_0}$ ד. הוכחה.

2) א. $\vec{E} = \frac{kq}{a^2}\hat{y}$ ב. $\vec{E}' = \frac{kq}{a^2}8\hat{y}$ ג. $\vec{E} = \frac{kq}{a^2}\hat{x}$ ד. $\vec{E}' = \frac{kq}{a^2}\hat{x}$

3) $\vec{E} = \frac{2k\lambda}{r}\hat{r}$

4) ד'.

5) א. $\vec{F} = \frac{8Q\sigma_0}{2\varepsilon_0}\hat{y}$, $\vec{E} = \frac{8\sigma_0}{2\varepsilon_0}\hat{y}$ ב. הוכחה.

ג. $\vec{F} = \frac{Q\sigma_0}{2\varepsilon_0}\hat{y}$, $\vec{E} = \frac{\sigma_0}{2\varepsilon_0}\hat{y}$ ד. הוכחה.

6) $\frac{dF}{dl} = \frac{I_1 I_2}{2\pi\varepsilon_0 C^2 d}$

7) א. $\vec{E} = -\frac{8k|e|}{d^2}\hat{y}$ ב. $\vec{F}_\perp = \frac{ke^2}{8d^2}(-\hat{y})$ ג. $B = \frac{ke\beta 8}{Cd^2}$

8) א. $\frac{kqQ}{d^2}\sin^2\theta$ ב. $\frac{kQq(1-\beta^2)\sin^2\theta}{d^2(1-\beta\sin^2\theta)^{\frac{3}{2}}}$

9) א. $7.2\cdot 10^{14}\frac{v}{m}$ ב. $1\mu sec$