

[Sumari](#)

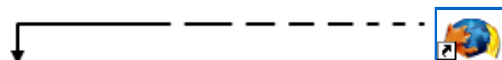
PROBLEMES EMPAQUETATS. CAMP ELÈCTRIC

Octavi Plana

És possible plantejar situacions reals en les quals el camp elèctric sigui determinant i que estiguin a l'abast dels estudiants de batxillerat?

Buscant una mica podem trobar molts contextos que mostren, de nou, que la física que estudien els nostres alumnes és rellevant per al món que els envolta; que val la pena fer l'esforç d'acostar l'aula a les aplicacions i desenganxar-los una mica de problemes que només viuen sobre el paper.

En el primer exemple, encara que seria possible trobar-ne molts d'aplicats als tubs de raigs catòdics de televisió (aquí el currículum ha quedat molt ràpidament antiquat!), s'ha buscat una situació equivalent encara que menys coneguda.



Full de l'alumnat

Els problemes

El camp elèctric 1: Descripció del funcionament d'un tub de raigs catòdics de televisió. Reconeixement quantitatiu de la transformació de l'energia en un canó d'electrons. Comparació de la transformació de l'energia en un canó d'electrons i la que es produeix en un camp gravitatori uniforme.

1. La figura 1 mostra el funcionament d'un dispositiu de soldadura per feix d'electrons. La diferència de potencial entre el càtode (d'on surten els electrons amb una velocitat molt petita) i l'ànode és de **150 kV**. El feix d'electrons es dirigeix al punt on volem fer la soldadura, on xoquen i fonen les superfícies que s'han de soldar, amb potències de fins a **2 kW**. Quan el metall es refreda torna a solidificar i les superfícies queden unides de manera molt forta.

- En quines regions del dispositiu guanyen energia cinètica els electrons? En quines regions en perden?
- Quina funció tenen les bobines deflectores? Proposa un mecanisme perquè funcionin.
- Una bomba de buit manté tot l'aparell a una pressió baixíssima. Què passaria si hi hagués aire dins del dispositiu?
- Calcula l'energia cinètica dels electrons en passar per l'ànode i en xocar amb l'objecte que s'ha de soldar. Quina velocitat tenen aquests electrons?

e) Quants electrons han de cedir la seva energia cinètica cada segon per subministrar els 2 kW de potència a la zona que s'ha de soldar? Expressa el resultat en nombre d'electrons i també com a intensitat de corrent elèctric (en ampers).

Dades: $q_{\text{electro}} = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$; $m_{\text{electro}} = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$;
 $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

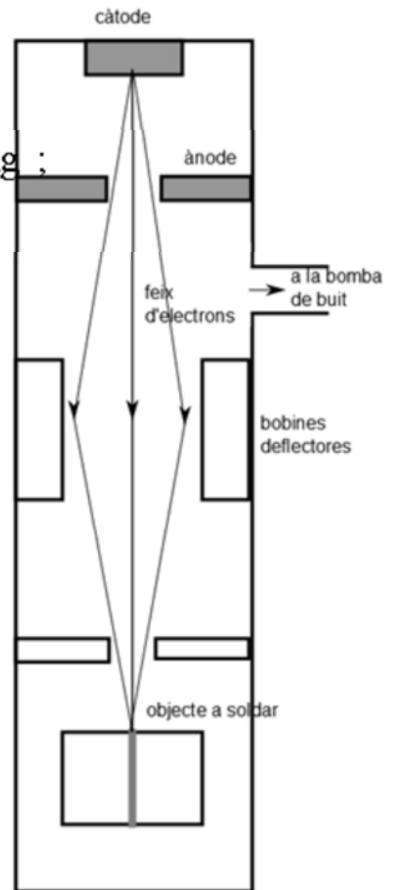


Fig. 1: Dispositiu de soldadura per feix d'electrons

El camp elèctric 2: Caracterització del model d'interacció a través d'un camp com a alternativa al model d'interacció a distància. Característiques del camp elèctric: intensitat del camp elèctric com a força per unitat de càrrega. $\vec{E} = \vec{F} / q$, caràcter vectorial del camp elèctric. Comparació amb el camp gravitatori.

2. En una demostració en un taller d'electrostàtica es carrega una esfera metàl·lica fins a un voltatge molt alt. Per explorar el camp elèctric al voltant de l'esfera hi acostem una petita bola de 10 g que penja d'un fil molt lleuger de 40 cm de llarg. Sabem que la boleta té una càrrega elèctrica de 10^{-8} C .

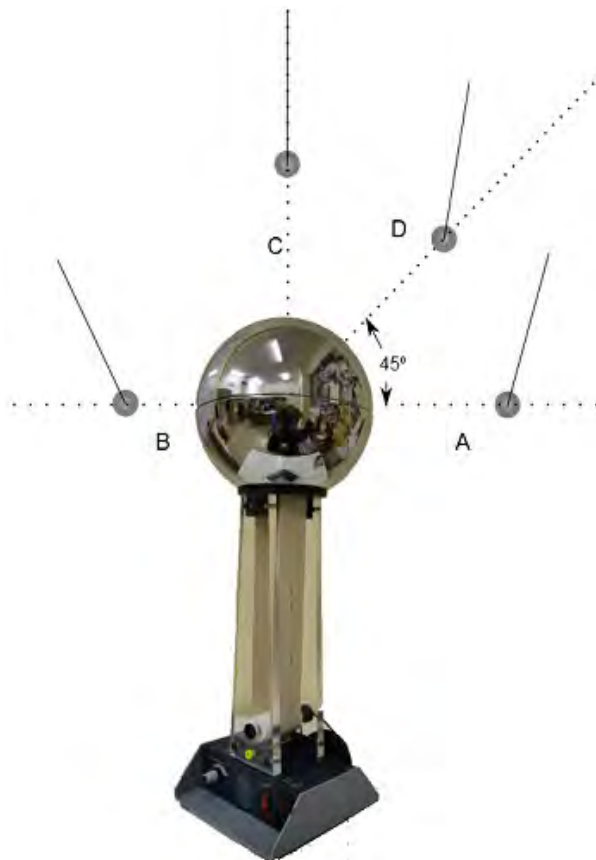


Fig. 2: Generador de Van der Graaff

Quan situem la boleta en diferents punts (A,B,C i D) veiem, en la figura 2, que en cada cas el fil pren una inclinació diferent: situada

en el punt A la inclinació és de 15° , mentre que quan la situem en el punt B la inclinació és de 25° .

- Dibuixa els diagrames de forces per a cada una de les 4 posicions.
- Dibuixa, qualitativament, els vectors de camp elèctric en cada un dels 4 punts explorats.
- Calcula el camp elèctric en els punts A i B.
- Considera que en el punt D el mòdul del camp elèctric és el mateix que en el punt A, però que la

direcció difereix 45° . Calcula la inclinació del fil quan la boleta està en el punt D.

El camp elèctric 3: Identificació del potencial elèctric com a energia potencial elèctrica per unitat de càrrega i del seu caràcter escalar. Reconeixement de línies de camp i superfícies equipotencials. Utilització de simulacions per visualitzar-les. Determinació experimental de superfícies equipotencials.

3. La figura 3 mostra l'estructura d'un material electrocròmic. El color d'aquest material es pot modificar a voluntat quan una diferència de potencial entre les plaques de material conductor desplaça els ions fins a la pel·lícula electrocròmica.

Considera que la distància entre les plaques conductores és de $5,0 \text{ mm}$, que la diferència de potencial entre les plaques és de $5,00 \text{ V}$ i que el camp elèctric entre les plaques és

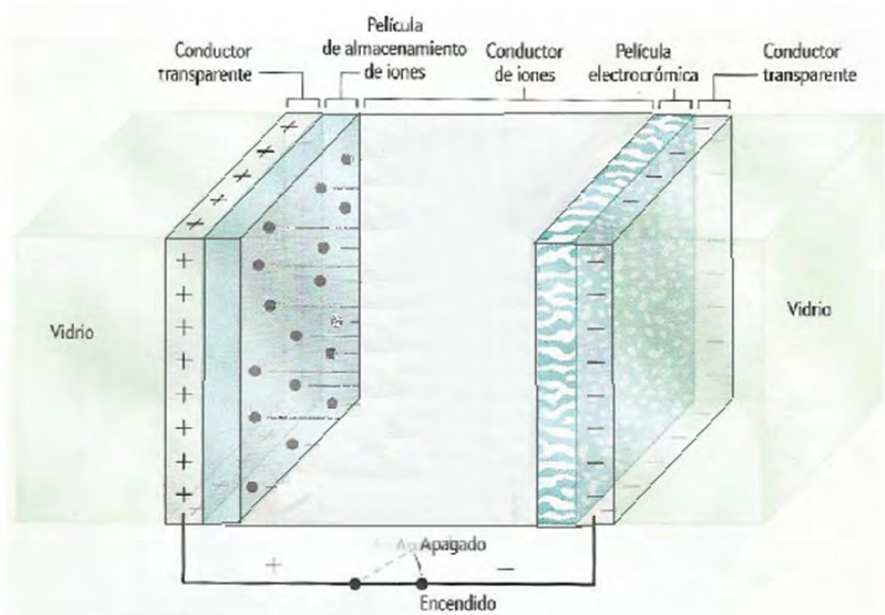


Fig. 3: Estructura d'un material electrocròmic. Origen de la imatge: *Investigación y Ciencia*, desembre de 2013

aproximadament constant. Atribuïrem $V = 0$ a la placa negativa. Els ions estan inicialment a $0,5 \text{ mm}$ de la placa positiva.

- a) Dibuixa les línies de camp i les superfícies equipotencials corresponents a 1V , 2V , 3V i 4V .
- b) Troba l'energia potencial de cada un dels ions (K^+ i SO_4^{2-}) en la seva posició inicial.
- c) Calcula el treball fet pel camp elèctric quan cada un dels ions (K^+ i SO_4^{2-}) va des de la seva posició inicial fins a la placa que té el signe contrari a la seva càrrega. Indica el resultat en joules (J) i en electronvolts (eV).

Dades: càrrega $K^+ = + 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ càrrega $SO_4^{2-} = - 3,2 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

$$1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} .$$

El camp elèctric 4: Relació entre força i gradient d'energia potencial i entre camp i gradient de potencial per a un camp elèctric uniforme. Aplicacions de la desviació de partícules carregades que es mouen en el si de camps elèctrics uniformes: acceleradors lineals i circulars. Comparació amb la desviació de masses que es mouen en un camp gravitatori uniforme.

4.4. La figura 4 mostra les superfícies equipotencials sota un núvol, en un terreny pla amb una torre metàl·lica de 100 metres d'altura.

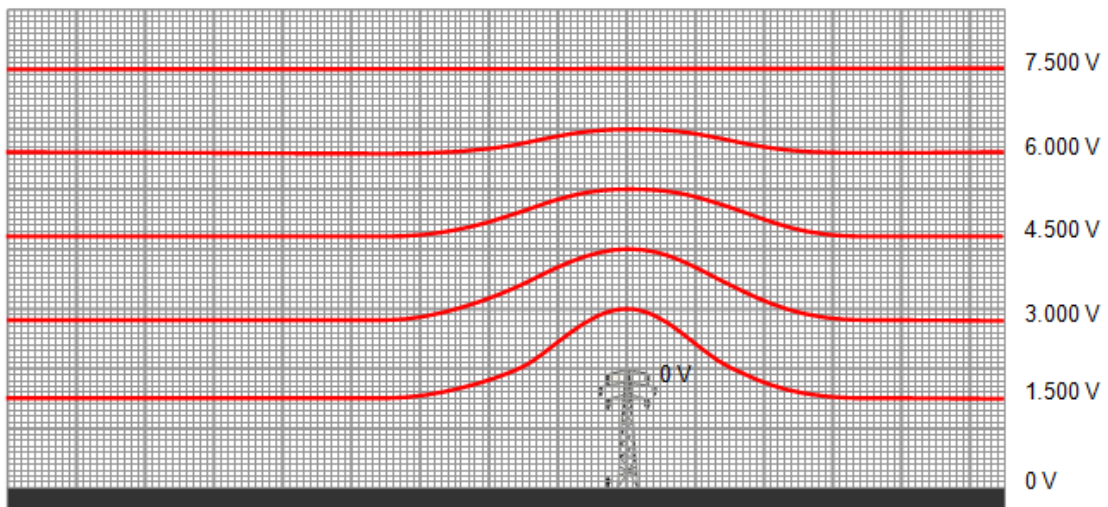


Fig. 4: Superfícies equipotencials

- Dibuixa, de manera aproximada les línies de camp elèctric en aquesta zona i indica el signe de les càrregues al terra i a la part inferior del núvol.
- Indica on és més intens el camp elèctric i calcula'n el valor.
- Compara l'energia que es despendrà en un llamp que vagi del núvol i al terra i un llamp (de la mateixa càrrega) que vagi del núvol a la punta de la torre.

5. Utilitzant un programa de simulació hem enviat una partícula ($m = 0,1 \text{ kg}$, $q = + 0,001 \text{ C}$, $v_0 = 0$) a través de tres zones, cada una amb el seu camp elèctric uniforme i constant. S'han pres imatges de la partícula cada $0,01 \text{ s}$ i hem obtingut la figura 5 (les posicions estan indicades en metres):

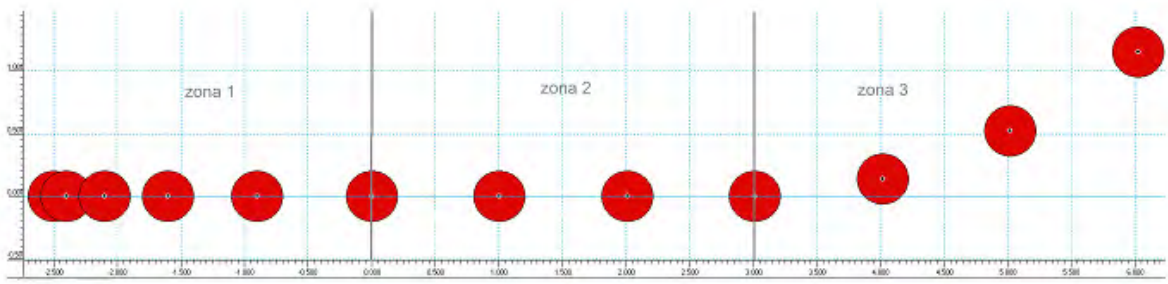


Fig. 5: Posicions d'una partícula carregada en moviment.

- a) Determina la direcció, sentit i intensitat del camp elèctric en cada una de les zones.
b) En la següent imatge (figura 6) veiem tres partícules amb diferent càrrega elèctrica però amb la mateixa massa, que entren a la mateixa velocitat en la mateixa regió de l'espai de l'apartat anterior. Identifica el signe de cada una de les càrregues i explica el diferent comportament que mostren.

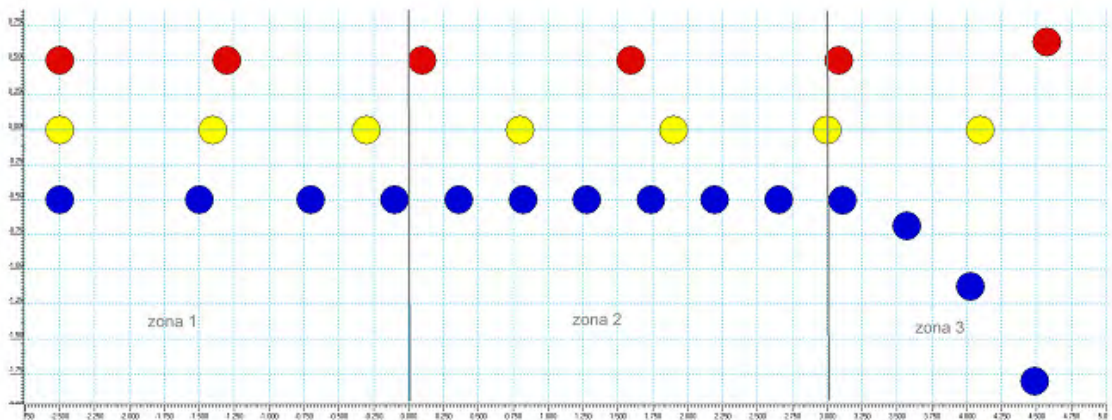


Fig. 6: Moviment de tres partícules amb diferent càrrega però la mateixa massa.

- c) En la tercera imatge (figura 7) tenim tres partícules amb la mateixa càrrega elèctrica però amb diferents masses. Ordena les partícules segons la seva massa i justifica'n el diferent comportament.

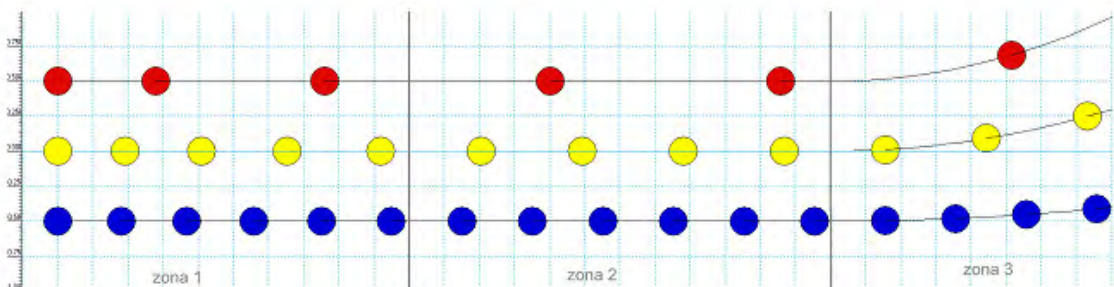


Fig. 7: Moviment de partícules amb la mateixa càrrega però masses diferents.

- d) Si en comptes de camps elèctrics haguéssim fet les simulacions amb camps gravitatoris, quines diferències hi hauríem trobat?

El camp elèctric 5: Descripció del detector Geiger-Muller, per a la introducció a l'estudi de camps elèctrics no uniformes amb simetria cilíndrica i esfèrica. Anàlisi de la dependència de la intensitat del camp amb la distància a partir de consideracions de simetria.

6. Observa la figura 8 que representa un tub de Geiger.

- a) Dibuixa, de manera aproximada, les línies de camp i les superfícies equipotencials a l'interior d'un tub de Geiger format per un fil positiu ($V = 500 \text{ V}$) i un cilindre coaxial negatiu ($V = 0$). Raona si la superfície equipotencial $V = 250 \text{ V}$ estarà més a prop del fil o més a prop del cilindre.
- b) Compara el nombre de línies de camp que travessen cada una de les superfícies equipotencials.
- c) On és més intens el camp? Compara la intensitat del camp elèctric en dos punts situats a 5 mm i $1,0 \text{ cm}$ de l'eix central, respectivament.

El camp elèctric 6: Caracterització del camp elèctric (intensitat i potencial) creat per càrregues puntuals. Llei de Coulomb.

7. Una antena consisteix en un pal metàl·lic vertical de $5,0 \text{ m}$ d'altura en el qual les càrregues elèctriques es mouen d'un extrem a l'altre. En un moment donat hi ha una càrrega de $0,1 \text{ }^\circ\text{C}$ a l'extrem superior i de $-0,1 \text{ }^\circ\text{C}$ al nivell de terra. Considera el punt P situat al terra, a 10 metres de la base de l'antena.

- a) Fes un esquema de la situació i dibuixa els vectors del camp elèctric causat per cada una de les càrregues en el punt P.
- b) Calcula el camp elèctric total en aquest punt.
- c) Calcula el potencial elèctric en el punt P.
- d) Calcula els valors de la intensitat del camp i del potencial un instant més tard, quan les dues càrregues de l'antena hagin permutat les posicions.

Dades: càrrega $K = 9 \cdot 10^9 \text{ N m}^2\text{C}^{-2}$.

Relació entre el camp elèctric i magnètic i síntesi electromagnètica de Maxwell. Caracterització de les ones electromagnètiques.

8. La figura 9 mostra un ondulador. Els onduladors són essencialment una regió en la que les partícules carregades es troben successivament camps magnètics de sentit alternat que s'utilitzen com a font de radiació molt intensa en els sincrotrons.

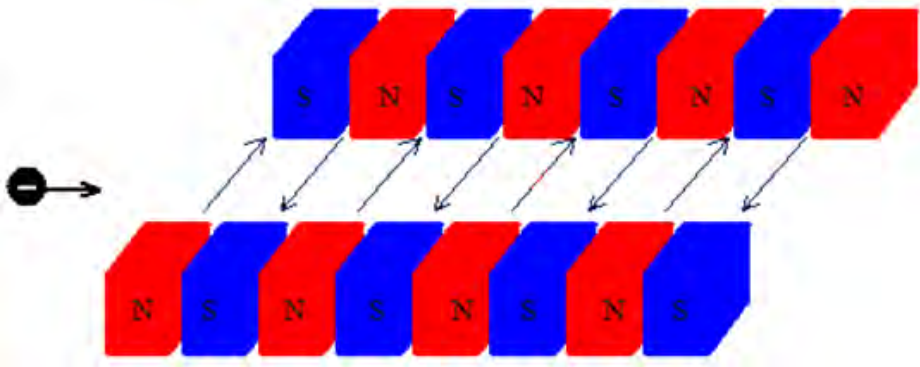


Fig. 9: Esquema d'un ondulator d'un sincrotró.

a) Considera que l'electró arriba a l'ondulator des de l'esquerra i el travessa completament. Dibuixa de manera aproximada la trajectòria que seguirà.

Les figures 10a i 10b mostren el camp elèctric causat per l'electró abans d'entrar en l'ondulator, quan l'electró es mou amb un moviment rectilini uniforme (MRU) i quan l'electró es mou dins de l'ondulator

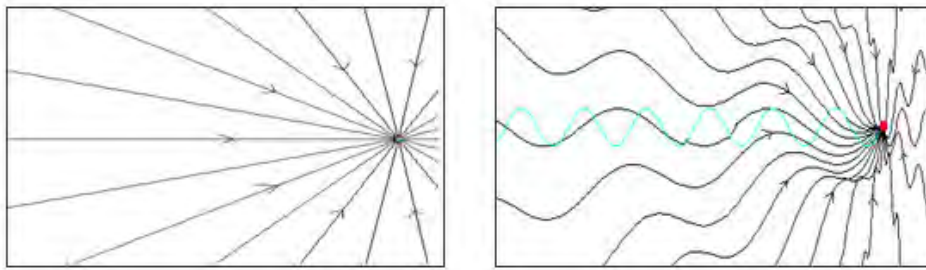
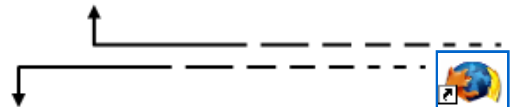


Fig. 10a i b: Camp elèctric de l'electró abans d'entrar (a) i dins (b) de l'ondulator

b) Com pots relacionar aquesta informació amb la producció d'ones electromagnètiques en l'ondulator?

c) Ens informen que un ondulator produeix raigs-X pràcticament unidireccionals d'una longitud d'ona $\lambda = 0,25 \text{ nm}$ amb una amplitud del camp elèctric de $5 \cdot 10^7 \text{ V/m}$. ESCRIU l'equació de l'ona plana $E(x,t)$ d'aquests raigs-X (pots ignorar-ne la fase inicial).



Soluciones

1. La figura 1 mostra el funcionament d'un dispositiu de soldadura per feix d'electrons. La diferència de potencial entre el càtode (d'on surten els electrons amb una velocitat molt petita) i l'ànode és de **150 kV**. El feix d'electrons es dirigeix al punt on volem fer la soldadura, on xoquen i fonen les superfícies que s'han de soldar, amb potències de fins a **2 kW**. Quan el metall es refreda torna a solidificar i les superfícies queden unides de manera molt forta.

a) En quines regions del dispositiu guanyen energia cinètica els electrons? En quines regions en perden?

En guanyen: entre el càtode i l'ànode. En perden: en xocar amb la superfície metàl·lica.

b) Quina funció tenen les bobines deflectores? Proposa un mecanisme perquè funcionin.
Desvien els electrons. Podrien fer-ho uns camps magnètics (uns imants o electroimants) amb la direcció del camp tangencial o uns camps elèctrics (plaques amb diferència de potencial (ddp)) amb la direcció del camp radial.

c) Una bomba de buit manté tot l'aparell a una pressió baixíssima. Què passaria si hi hagués aire dins del dispositiu?

Els electrons perdrien energia pel camí (i es desviarien) en xocar amb les molècules residuals. Les trajectòries serien impredecibles.

d) Calcula l'energia cinètica dels electrons en passar per l'ànode i en xocar amb l'objecte que s'ha de soldar. Quina velocitat tenen aquests electrons?

En passar per l'ànode (i abans de xocar) $E_c = 1,5 \cdot 10^5 \text{ eV} = 2,4 \cdot 10^{-14} \text{ J}$;

$v = 2,3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ (resultat no relativista) i $v = 1,9 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ (resultat relativista).

e) Quants electrons han de cedir la seva energia cinètica cada segon per subministrar els **2 kW** de potència a la zona que s'ha de soldar? Expressa el resultat en nombre d'electrons i també com a intensitat de corrent elèctric (en amper (A)).

$8,33 \cdot 10^{16} \text{ electrons/s} = 0,013 \text{ A}$

2. En una demostració en un taller d'electrostàtica es carrega una esfera metàl·lica fins a un voltatge molt alt. Per explorar el camp elèctric al voltant de l'esfera hi acostem una petita bola de **10 g** que penja d'un fil molt lleuger de **40 cm** de llarg. Sabem que la boleta té una càrrega elèctrica de 10^{-8} C .

Quan situem la boleta en diferents punts (A, B, C i D) veiem, en la figura 2, que en cada cas el fil pren una inclinació diferent: situada en el punt **A** la inclinació és de 15° , mentre que quan la situem en el punt **B** la inclinació és de 25° .

a) Dibuixa els diagrames de forces per a cada una de les 4 posicions.

A la figura 11: en verd: tensió; en blau: pes; en vermell: força elèctrica.

b) Dibuixa, qualitativament, els vectors camp elèctric en cada un dels 4 punts explorats.

El camp elèctric té la mateixa direcció i sentit, i és proporcional a les forces elèctriques de l'apartat anterior.

c) Calcula el camp elèctric en els punts A i B.

$2,63 \cdot 10^3 \text{ N/C}$; $4,57 \cdot 10^3 \text{ N/C}$

d) Considera que en el punt D el mòdul del camp elèctric és el mateix que en el punt A, però que la direcció difereix 45° . Calcula la inclinació del fil quan la boleta està en el punt D.

9°

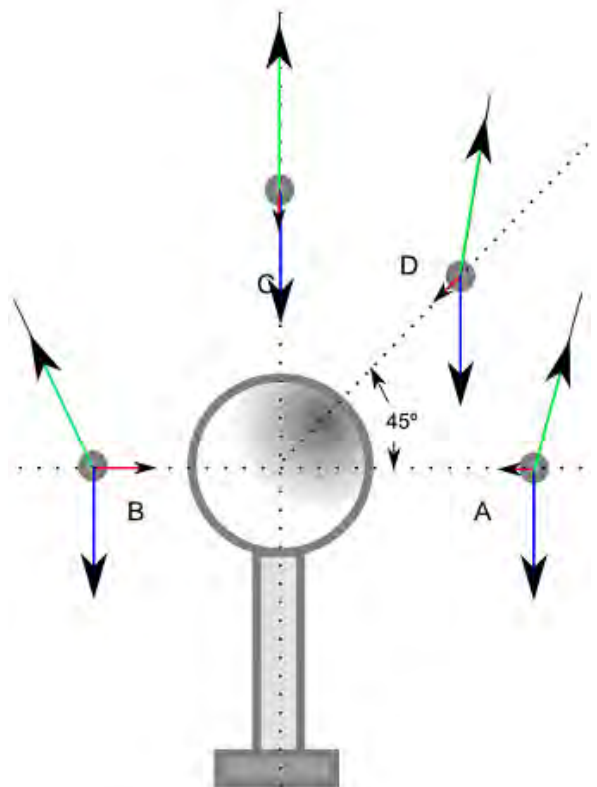


Fig. 11:

3. La figura 3 mostra l'estructura d'un material electrocròmic. El color d'aquest material es pot modificar a voluntat quan una diferència de potencial entre les plaques de material conductor desplaça els ions fins a la pel·lícula electrocròmica.

Considera que la distància entre les plaques conductores és de **5,0 mm**, que la diferència de potencial entre les plaques és de **5,00 V** i que el camp elèctric entre les plaques és aproximadament constant. Atribuïrem $V = 0$ a la placa negativa. Els ions estan inicialment a **0,5 mm** de la placa positiva.

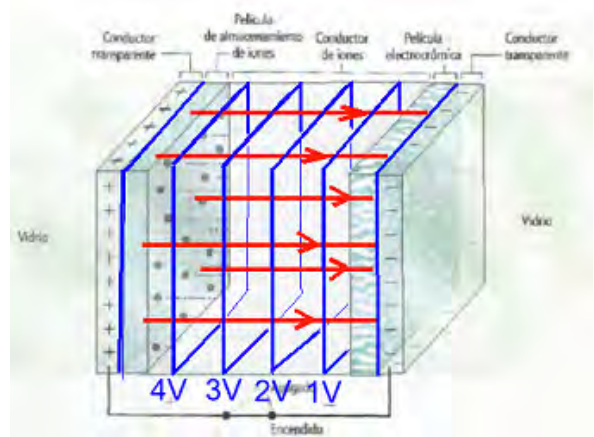


Fig. 12:

a) Dibuixa les línies de camp i les superfícies equipotencials corresponents a **1V, 2V, 3V i 4V**.

A la figura 12

b) Troba l'energia potencial de cada un dels ions (K^+ i SO_4^{2-}) en la seva posició inicial.

$$7,2 \cdot 10^{-19} \text{ J}; -1,44 \cdot 10^{-18} \text{ J}$$

c) Calcula el treball fet pel camp elèctric quan cada un dels ions (K^+ i SO_4^{2-}) va des de la seva posició inicial fins a la placa que té el signe contrari a la seva càrrega. Indica el resultat en joules (J) i en electronvolts (eV).

$$7,2 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 4,5 \text{ eV}; 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 1,0 \text{ eV}.$$

4. La figura 4 mostra les superfícies equipotencials sota un núvol, en un terreny pla amb una torre metàl·lica de 20 m d'altura.

a) Dibuixa, de manera aproximada, les línies de camp elèctric en aquesta zona i indica el signe de les càrregues al terra i a la part inferior del núvol.

Vegeu la figura 13. La càrrega és positiva a dalt i negativa al terra.

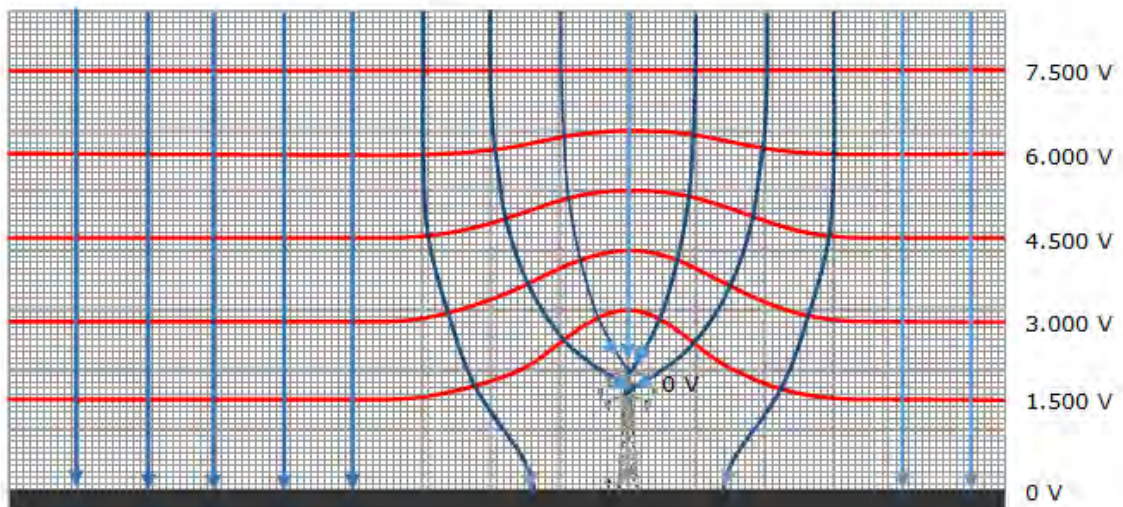


Fig. 13:

b) Indica on és més intens el camp elèctric i calcula'n el valor.

$|E|$ màxim a la vertical sobre la torre, 150 V/m (cap avall).

c) Compara l'energia que es despendrà en un llamp que vagi del núvol i al terra i un llamp (de la mateixa càrrega) que vagi del núvol a la punta de la torre.
Seran iguals.

5. Utilitzant un programa de simulació hem enviat una partícula ($m = 0,1 \text{ kg}$, $q = + 0,001 \text{ C}$, $V_0 = 0$) a través de tres zones, cada una amb el seu camp elèctric uniforme i constant. S'han pres imatges de la partícula cada $0,01 \text{ s}$ i hem obtingut la figura 5 (les posicions estan indicades en metres):

a) Determina la direcció, sentit i intensitat del camp elèctric en cada una de les zones.

$$\vec{E}_1 = 2 \cdot 10^5 \hat{i} \text{ N/C}; \vec{E}_2 = 0; \vec{E}_3 = 2,5 \cdot 10^5 \hat{j} \text{ N/C}$$

b) En la següent imatge (figura 6) veiem tres partícules amb diferent càrrega elèctrica però amb la mateixa massa, que entren a la mateixa velocitat en la mateixa regió de l'espai de l'apartat anterior. Identifica el signe de cada una de les càrregues i explica el diferent comportament que mostren.
La partícula groga no té càrrega. La partícula blava és negativa i la vermella positiva... (per cert, el valor absolut de les càrregues blava i vermella és igual!).

c) En la tercera imatge (figura 7) tenim tres partícules amb la mateixa càrrega elèctrica però amb diferents masses. Ordena les partícules segons la seva massa i justifica'n el diferent comportament.
Massa blava > massa groga > massa vermella.

d) Si en comptes de camps elèctrics haguéssim fet les simulacions amb camps gravitatoris, quines diferències hi hauríem trobat?
No podria haver-hi partícules amb massa negativa. El moviment de les partícules només dependria del camp (i també de la posició i la velocitat inicial), però no de la massa de la partícula.

6. Observa la figura 8 que representa un tub de Geiger.

a) Dibuixa, de manera aproximada, les línies de camp i les superfícies equipotencials a l'interior d'un tub de Geiger format per un fil positiu ($V = 500 \text{ V}$) i un cilindre coaxial negatiu ($V = 0$). Raona si la superfície equipotencial $V = 250 \text{ V}$ estarà més a prop del fil o més a prop del cilindre.

Més a prop del fil.

b) Compara el nombre de línies de camp que travessen cada una de les superfícies equipotencials.
El mateix nombre de línies.

c) On és més intens el camp? Compara la intensitat del camp elèctric en dos punts situats a 5 mm i $1,0 \text{ cm}$ de l'eix central, respectivament.

$$\text{Prop del fil: } |E_{5\text{mm}}| = 2 |E_{1\text{cm}}|$$

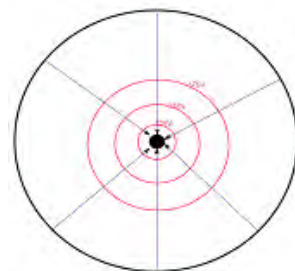


Fig. 14:

7. Una antena consisteix en un pal metàl·lic vertical de $5,0 \text{ m}$ d'altura en el qual les càrregues elèctriques es mouen d'un extrem a l'altre. En un moment donat hi ha una càrrega de $0,1 \text{ }^\circ\text{C}$ a l'extrem superior i de $-0,1 \text{ }^\circ\text{C}$ al nivell de terra. Considera el punt P situat al terra, a 10 metres de la base de l'antena.

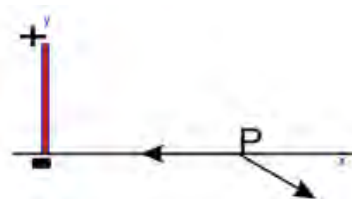


Fig. 15:

a) Fes un esquema de la situació i dibuixa els vectors del camp elèctric causat per cada una de les càrregues en el punt P.

Vegeu la figura 15.

b) Calcula el camp elèctric total en aquest punt.

$$\vec{E} = (-2,56 \hat{i} - 3,22 \hat{j}) \text{ N/C}$$

c) Calcula el potencial elèctric en el punt P.

$$-9,5 \text{ V}$$

d) Calcula els valors de la intensitat del camp i del potencial un instant més tard, quan les dues càrregues de l'antena hagin permutat les posicions.

$$\vec{E} = (+2,56 \hat{i} + 3,22 \hat{j}) \text{ N/C} ; V = +9,5 \text{ V}$$

8. La figura 9 mostra un ondulator. Els ondulators són essencialment una regió en la qual les partícules carregades es troben successivament camps magnètics de sentit alternat que s'utilitzen com a font de radiació molt intensa en els sincrotrons.

a) Considera que l'electró arriba a l'ondulator des de l'esquerra i el travessa completament. Dibuixa de manera aproximada la trajectòria que seguirà.

Vegeu la figura 16. Ep! Noteu que l'ondulació és en el pla vertical.

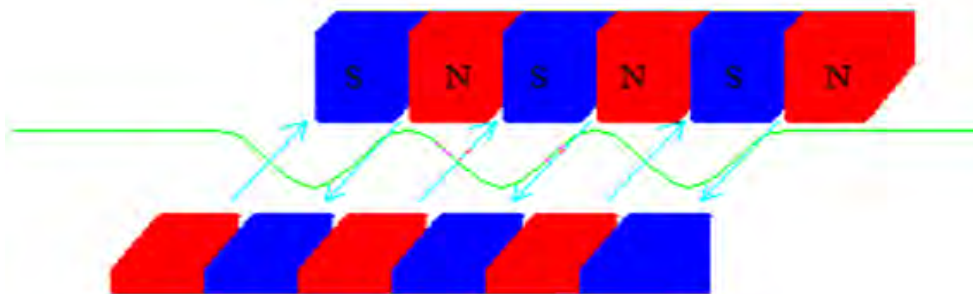


Fig. 16:

Les figures 10a i 10b mostren el camp elèctric causat per l'electró abans d'entrar a l'ondulator, quan l'electró es mou amb un moviment rectilini uniforme (MRU) i quan l'electró es mou dins de l'ondulator

b) Com pots relacionar aquesta informació amb la producció d'ones electromagnètiques en l'ondulator? Quan l'electró es mou en l'ondulator produeix un camp amb periodicitat en l'espai (es veu a la figura 16) i, si imaginem l'electró desplaçant-se i "arrossegant" el camp elèctric, amb periodicitat en el temps. Vet aquí una ona. En la situació de MRU no s'aprecia cap periodicitat en el camp elèctric.

c) Ens informen que un ondulator produeix raigs-X pràcticament unidireccionals d'una longitud d'ona $\lambda = 0,25 \text{ nm}$ amb una amplitud del camp elèctric de $5 \cdot 10^7 \text{ V/m}$. Escriu l'equació de l'ona plana $E(x, t)$ d'aquests raigs-X (pots ignorar-ne la fase inicial).

$$E(x, t) = \underbrace{5 \cdot 10^7}_{\text{unitats: V/m}} \cos \left(\underbrace{7,54 \cdot 10^{18}}_{\text{unitats: rad/s}} t - \underbrace{2,51 \cdot 10^{10}}_{\text{unitats: rad/m}} x \right)$$



[Inici](#)

[Com podeu col·laborar?](#)

[Subscripció](#)

ISSN: 1988-7930 **DL:** B-31773-2012 **Adreça a la xarxa:** www.RRFisica.cat **Adreça electrònica:** redaccio@rrfisica.cat difusio@rrfisica.cat

Comitè de redacció : Josep Ametlla, Octavi Casellas, Xavier Jaén, Gemma Montanyà, Octavi Plana, Jaume Pont.
Treballem conjuntament : Societat Catalana de Física, Associació de Professores i Professors de Física i Química de Catalunya, XTEC, Universitat Politècnica de Catalunya, Universitat de Barcelona



Aquesta obra està subjecta a una [Llicència de Creative Commons](#)



Programació web: Xavier Jaén i Daniel Zaragoza.

Correcció lingüística: Serveis Lingüístics de la Universitat Politècnica de Catalunya.

Recursos de Física col·labora amb [la baldufa](#) i també amb [ciències](#) Revista del Professorat de Ciències de Primària i Secundària (Edita: CRECIM-UAB)