A1

I. 1B, 2D, 3C, 4A

II. b) motsols, c) medsols

III.

r (cm)	q_{encl}	$\bar{E}$ (V/m)
1	0	0
3	0	0
7	0	0
15	-2Q	$\frac{-2Q}{4\pi\varepsilon_0(0{,}15)^2}$

IV. a, d

A2

a)

E-fältet från en punktladdning ges av: $\bar{E} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\hat{r}$

-5 nC laddningen ger i punkten P ett E-fältet

$$\bar{E} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\hat{x} + \frac{1}{\sqrt{2}}\hat{y}\right)$$

där $q = -5$ nC och $r = \sqrt{2}$ cm.

q_1 ger enbart ett bidrag till E-fältet i x-led i punkten P.

$$E_x = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{-5\cdot 10^{-9}}{0{,}0002}\frac{1}{\sqrt{2}} + \frac{q_1}{0{,}01^2}\right) = 0$$

$$q_1 = 0{,}0001 \cdot \frac{5\cdot 10^{-9}}{0{,}0002\cdot\sqrt{2}} = 1{,}7706\cdot 10^{-9}\ C$$

q_2 ger enbart ett bidrag till E-fältet i y-led i punkten P.

$$E_y = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{-5\cdot 10^{-9}}{0{,}02}\frac{1}{\sqrt{2}} + \frac{q_2}{0{,}01}\right) = 0$$

$$q_2 = 0{,}01 \cdot \frac{5\cdot 10^{-9}}{0{,}02\cdot\sqrt{2}} = 1{,}77\cdot 10^{-9}\ \mathrm{C}$$

b)

Vi definierar som vanligt potentialen i oändligheten till 0. I punkten P är potentialen

$$V(P) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\sum_i \frac{q_i}{r_i} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{-5\cdot 10^{-9}}{\sqrt{0{,}0002}} + \frac{1{,}77\cdot 10^{-9}}{0{,}01} + \frac{1{,}77\cdot 10^{-9}}{0{,}01}\right) = 4\ \mathrm{V}$$

Svar: a) $\boldsymbol{q_1 = q_2 = 1,77\cdot 10^{-9}}$ C, b) $\mathbf{4\ V}$

A3

Magnetfältet i centrum av en spole är

$$B = \frac{N\mu_0 I}{2r}$$

För den horisontellt placerade spolen, som ger att magnetfält som är riktat vertikalt blir

$$B_v = \frac{100 \cdot \mu_0 \cdot 230 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 0{,}25} \approx 58\hat{y}\ \mu\mathrm{T}$$

och för den vertikalt placerade spolen

$$B_h = \frac{100 \cdot \mu_0 \cdot 90 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 0{,}25} \approx -23\hat{x}\ \mu\mathrm{T}$$

Summan av dessa fält ska motverka det jordmagnetiska fältet, som alltså måste vara lika stort, fast motriktat fältet från spolarna. Vinkeln mellan marken och fältriktningen blir då

$$90° - \tan^{-1} 23/58 \approx 68°$$

Fältets storlek blir

$$|\bar{B}| = \sqrt{(58 \cdot 10^{-6})^2 + (23 \cdot 10^{-6})^2} \approx 62\ \mu\mathrm{T}$$

Svar: Jordens magnetfält har storleken 62 μT och har vinkeln 68 ° mot marken.

A4

Partikelns kinetiska energi efter accelerationen

$$\frac{mv^2}{2} = qV$$

Partikeln går i en cirkelrörelse vilket innebär att $v \perp B$ och banradien ges av

$$r = \frac{mv}{qB}$$

$$qV = \frac{m}{2}\frac{r^2q^2B^2}{m^2}$$

$$m = \frac{r^2qB^2}{2V} = \frac{0{,}052^2 \cdot 2 \cdot 1{,}602 \cdot 10^{-19} \cdot (1{,}9 \cdot 10^{-3})^2}{2 \cdot 4000} = 3{,}91 \cdot 10^{-31}\ \mathrm{kg}$$

Svar: $3{,}91 \cdot 10^{-31}$ kg

A5

a)

Då staven förflyttas ändras den inneslutna ytan och en emf induceras:

$$|\varepsilon| = \frac{d\Phi_B}{dt} = B\frac{dA}{dt} = Bl\frac{dx}{dt} = Blv = 2{,}20 \cdot 1{,}60 \cdot 6{,}00 = 21{,}1 \text{ V}$$

Strömmen i slingan blir

$$I = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{2{,}21}{4{,}00} = 5{,}28 \text{ A}$$

Kraften som krävs för att förflytta staven ($B \perp v$)

$$F = BIl = 2{,}20 \cdot 5{,}28 \cdot 1{,}60 = 18{,}6 \text{ N}$$

b)

Effektutvecklingen i motståndet blir

$$P = I\varepsilon = 5{,}28 \cdot 21{,}1 = 112 \text{ W}$$

Svar: a)18,6 N b) 112 W

Lösningar

B6.

i. a, c, d

ii. a

iii. Vid Brewstervinkeln är det ljus som reflekteras polariserat vinkelrät mot infallsplanet. Det ljus som transmitteras i glaset är delvis polariserat.

iv. Eftersom vitt ljus består av ljus med många olika våglängder så kommer ljus med olika våglängder att spridas i olika vinklar enligt $a \sin\theta = m\lambda$. Det betyder att då $m > 0$ så kommer varje ljus fläck att bestå av en regnbåge där ljus med minst våglängd sprids i minst vinkel så att det blå ljuset (minst våglängd) kommer att hamna närmast det centrala maximumet och rött ljus (störst våglängd) hamnar längst ifrån det centrala maximumet. Det centrala maximumet kommer att vara vitt eftersom alla våglängder sprids i vinkeln $\theta = 0$ då $m = 0$.

B7

a. För ljusstrålen som går i luft tar det tiden $t_0 = s/c$ att färdas sträckan $s = 3{,}2$ m. För ljusstrålen som går genom glaset med brytningsindex n tar samma sträcka tiden

$$t_g = \frac{s}{v} = \frac{s}{c/n} = \frac{sn}{c}$$

Brytningsindexet är alltså

$$n = \frac{t_g c}{s}$$

Där tiden det tar att färdas genom glaset ges av $t_g = t_0 + 6{,}3 \cdot 10^{-9}$. Sätter vi in det så får vi

$$n = \frac{t_g c}{s} = (t_0 + 6{,}3 \cdot 10^{-9}) \cdot \frac{c}{s} = \left(\frac{s}{c} + 6{,}3 \cdot 10^{-9}\right) \cdot \frac{c}{s} = 1 + \frac{c}{s} \cdot 6{,}3 \cdot 10^{-9} =$$

$$= 1 + \frac{3 \cdot 10^8}{3{,}2} \cdot 6{,}3 \cdot 10^{-9} = 1{,}59$$

b. Brytningsvinkeln ges av Snells lag,

$$n_{luft} \sin\theta_{in} = n_{glas} \sin\theta_{glas}$$

Brytningsvinkeln θ_{glas} blir alltså

$$\theta_{glas} = \text{asin}\left(\frac{n_{luft}}{n_{glas}} \cdot \sin\theta_{in}\right) = \text{asin}\left(\frac{1}{1{,}59} \cdot \sin 45°\right) = 26{,}4°$$

Svar: a. $\boldsymbol{n = 1{,}6}$. b. $\boldsymbol{26°}$

C8.

i. a, c, d

ii. b

iii. Så länge utträdesfunktionen hos metallen är lägre än den energi som fotoner från synligt ljus har så kommer elektroner att frigöras. Eftersom synligt ljus består av många våglängder, dvs fotonerna har olika energi, kommer troligtvis endast en liten del av fotonerna att kunna ha tillräckligt med energi för att frigöra elektroner från metallen. Eftersom metallen befinner sig i luft så kommer den snabbt att fånga in en ny elektron från luftens molekyler och därför får inte metallen någon nettoladdning när elektronerna frigörs.

iv. Vissa halvledare har ett bandgap som är tillräckligt litet för att elektroner ska kunna exciteras till ledningsbandet på grund av värmeenergi. Vid 0 K är ledningsbandet helt tomt men vid högre temperaturer så kommer det att finnas elektroner i ledningsbandet. Eftersom fler elektroner exciteras ju högre temperaturen blir så ökar ledningsförmågan med temperatur.

C9.

a. de Broglie våglängden ges av

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

Där $p = mv$ är elektronernas rörelsemängd. Elektronernas hastighet fås från deras rörelseenergi vilken är

$$E_k = \frac{mv^2}{2} = 90 \cdot 1{,}609 \cdot 10^{-19}\ \mathrm{J}$$

Elektronernas hastighet är alltså

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot E_k}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 90 \cdot 1{,}609 \cdot 10^{-19}}{9{,}11 \cdot 10^{-31}}} = 5{,}64 \cdot 10^{6}\ \mathrm{m/s}$$

Det ger att de Broglie våglängden blir

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} = \frac{6{,}626 \cdot 10^{-34}}{9{,}11 \cdot 10^{-31} \cdot 5{,}64 \cdot 10^{6}} = 1{,}29 \cdot 10^{-10}\ \mathrm{m} = 0{,}129\ \mathrm{nm}$$

b. Osäkerheten i vertikal position är $\Delta y = 0{,}05\ \mathrm{mm}$. Det ger att osäkerheten i rörelsemängd är (minst)

$$\Delta p_y = \frac{\hbar}{2 \cdot \Delta y} = \frac{1{,}055 \cdot 10^{-34}}{2 \cdot 0{,}05 \cdot 10^{-3}} = 1{,}055 \cdot 10^{-30}\ \mathrm{kgm/s}$$

c. Strömmen genom en pn-övergång ges av

$$I = I_s\left(e^{eV/kT} - 1\right)$$

Där I_s är läckströmmen, e är elementarladdningen, V är spänningen, k är Boltzmanns konstant och T är temperaturen i Kelvin. Vid framspänningsfall är spänningen V positiv. Det ger att strömmen är

$$I = 0{,}35 \cdot \left(e^{1{,}609 \cdot 10^{-19} \cdot 0{,}05 / 1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 293} - 1\right) = 2{,}21\ \mathrm{A}$$

Svar: a. $\mathbf{0,13\ nm}$. b. $\mathbf{\Delta y = 1,1 \cdot 10^{-30}\ kgm/s}$ c. $\mathbf{2,2\ A}$