

Midtsemesterprøve fredag 10. oktober kl 0900 – 1200.

Svartabell på baksiden av eget ark. Sett tydelig kryss.

Nr 1 av 5 versjoner med ulik rekkefølge på de 40 oppgavene.

Studentnummer:

Hjelpemidler: C

- K. Rottmann: Matematisk formelsamling. (Eller tilsvarende.)
- O. Øgrim og B. E. Lian: Størrelser og enheter i fysikk og teknikk.
- Typegodkjent kalkulator, med tomt minne, i henhold til liste utarbeidet av NTNU. (HP30S eller enklere.)
- Formelsamling Elektrostatiske er inkludert på baksiden av dette arket.

Opplysninger:

- Kryss av for 0 eller 1 alternativ på hver oppgave. Riktig svar gir 3 poeng, feil svar gir –1 poeng og ubesvart oppgave gir 0 poeng.
- Dersom ikke annet er oppgitt, antas det at systemet er i elektrostatiske likevekt.
- Dersom ikke annet er oppgitt, er “potensial” underforstått “elektrostatiske potensial”, og tilsvarende for “potensiell energi”.
- Dersom ikke annet er oppgitt, er nullpunkt for (elektrostatiske) potensial og potensiell energi valgt uendelig langt borte.
- Noe av dette kan du få bruk for:  $1/4\pi\epsilon_0 = 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$ ,  $e = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ ,  $m_e = 9.11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ ,  $m_p = 1.67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ ,  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$
- Symboler angis i kursiv (f.eks  $V$  for potensial) mens enheter angis uten kursiv (f.eks V for volt).

## Formelsamling Elektrostatiske

$\oint d\mathbf{A}$  angir flateintegral og  $\int d\mathbf{l}$  angir linjeintegral.  $\oint$  angir integral over lukket flate eller rundt lukket kurve. Formlenes gyldighetsområde og de ulike symbolenes betydning antas forøvrig å være kjent.

- Coulombs lov:

$$\mathbf{F} = \frac{qq'}{4\pi\epsilon_0 r^2} \hat{r}$$

- Elektrisk felt og potensial:

$$\mathbf{E} = -\nabla V$$
$$\Delta V = V_B - V_A = -\int_A^B \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l}$$

- Elektrisk potensial fra punktladning:

$$V = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r}$$

- Elektrisk fluks:

$$\phi_E = \int \mathbf{E} \cdot d\mathbf{A}$$

- Gauss lov for elektrisk felt:

$$\epsilon_0 \oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{A} = q$$
$$\oint \mathbf{D} \cdot d\mathbf{A} = q_{\text{fri}}$$
$$\epsilon_0 \nabla \cdot \mathbf{E} = \rho$$
$$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho_{\text{fri}}$$

- Elektrostatisk kraft er konservativ:

$$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = 0$$
$$\nabla \times \mathbf{E} = 0$$

- Elektrisk forskyvning:

$$\mathbf{D} = \epsilon_0 \mathbf{E} + \mathbf{P} = \epsilon_r \epsilon_0 \mathbf{E} = \epsilon \mathbf{E}$$

- Elektrisk dipolmoment:

$$\mathbf{p} = q\mathbf{d}$$

- Elektrisk polarisering:

$$\mathbf{P} = \frac{\Delta \mathbf{p}}{\Delta V}$$

- Kapasitans:

$$C = \frac{q}{V}$$

- Energitetthet i elektrisk felt:

$$u_E = \frac{1}{2} \mathbf{D} \cdot \mathbf{E} \stackrel{\text{vakuum}}{=} \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2$$

## Oppgaver

### 1) Elektrisk felt

- A er elektrisk kraft pr ladningsenhet.
- B er det samme som elektrisk potensial.
- C er en skalar størrelse.
- D pr flateenhet er det samme som elektrisk fluks.

### 2) Finn feil påstand: Gauss' lov for elektrostatisk felt $E$

- A er en konsekvens av Coulombs lov.
- B følger av at  $E$  faller av som  $1/r^2$ .
- C har som konsekvens at  $E = 0$  inne i en elektrisk leder.
- D uttrykker at netto elektrisk fluks gjennom en lukket flate er større jo større (netto) ladning som omslutes av flaten.

### 3) Finn feil påstand:

- A Overflaten av et metallstykke er et ekvipotensial.
- B Enhver lukket flate som i sin helhet ligger inne i et metallstykke er et ekvipotensial.
- C Enhver åpen (dvs: ikke lukket) flate som i sin helhet ligger inne i et metallstykke er et ekvipotensial.
- D Enhver lukket flate som i sin helhet ligger inne i et metallstykke har alltid elektrisk potensial  $V = 0$ .

### 4) Hva er ikke en enhet for elektrisk fluks $\phi_E$ ?

- A Vm
- B Cm/F
- C Jm/C
- D NV/J

### 5) I et område er det elektriske feltet

$$\mathbf{E} = \left(24\pi \frac{\text{V}}{\text{m}^2}\right) \cdot (x \hat{x} + y \hat{y} + z \hat{z})$$

Hva er da romladningstettheten  $\rho$  i dette området?

- A  $2 \text{ C/m}^3$
- B  $2 \text{ mC/m}^3$
- C  $2 \text{ }\mu\text{C/m}^3$
- D  $2 \text{ nC/m}^3$

6) Dersom potensialforskjellen mellom de to metallplatene i en parallellplatekondensator halveres, blir energien som er lagret i kondensatoren

- A firedoblet.
- B doblett.
- C redusert til det halve.
- D redusert til fjerdeparten.

7) Finn riktig påstand:

- A En ladet metallkule har positivt elektrisk potensial, enten den har positiv eller negativ ladning.
- B En ladet metallkule har negativt elektrisk potensial, enten den har positiv eller negativ ladning.
- C En ladet metallkule har positiv potensiell energi, enten den har positiv eller negativ ladning.
- D Påstandene A, B og C er alle feil.

8) Elektrisk felt på symmetriaksen og i avstand  $x$  fra sentrum av en tynn, jevnt ladet ring med ladning  $Q$  og radius  $R$  er

- A  $Qx/4\pi\epsilon_0(R^2 + x^2)^{3/2}$
- B  $QR/4\pi\epsilon_0(R^2 + x^2)^{3/2}$
- C  $QRx/4\pi\epsilon_0(R^2 + x^2)^2$
- D  $Q/4\pi\epsilon_0R(R^2 + x^2)^{1/2}$

9) Figuren viser feltlinjer for et uniformt elektrisk felt. Et elektron som plasseres i dette feltet vil

- A bevege seg med konstant hastighet mot venstre.
- B bevege seg med konstant hastighet mot høyre.
- C akselereres mot venstre.
- D akselereres mot høyre.



10) Elektrostatisk felt er konservativt. Hva kan da ikke representere et elektrostatisk felt? ( $k$  = konstant)

- A  $\mathbf{E} = k \hat{x}$
- B  $\mathbf{E} = kx^2 \hat{x}$
- C  $\mathbf{E} = kx^2 \hat{y}$
- D  $\mathbf{E} = k(z \hat{y} + y \hat{z})$

11) En blyant har et underskudd på  $3 \cdot 10^{11}$  elektroner. Da er blyantens ladning

- A 48 nC
- B -48 nC
- C 0.48 nC
- D  $5.3 \cdot 10^{-31}$  C

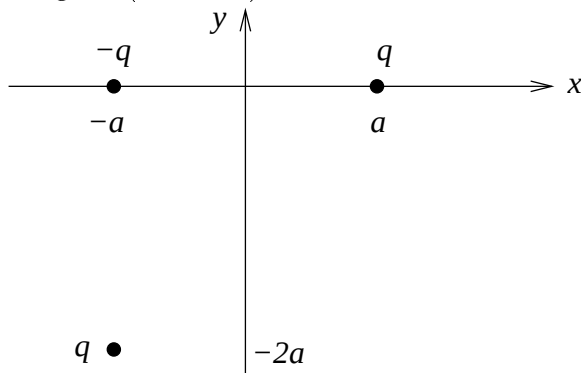
12) To små metallkuler frastøter hverandre elektrostatisk. Hvilket utsagn er da ikke korrekt?

- A Begge kulene er ladet.
- B Det er tilstrekkelig at den ene kule er ladet.
- C Kulene kan ikke ha ladning med motsatt fortegn.
- D Kulene påvirker hverandre med krefter som er like store i absoluttverdi.

13) To punktladninger  $q$  og  $-q$  er plassert på  $x$ -aksen, med  $q$  i  $(x, y) = (a, 0)$  og  $-q$  i  $(-a, 0)$ . Da blir kraften fra disse på en tredje punktladning  $q$  i  $(-a, -2a)$

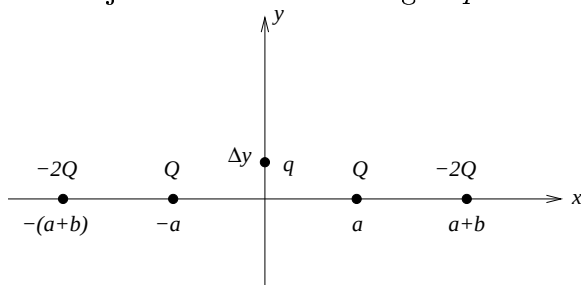
- A  $\left[ -\hat{x} + (2\sqrt{2} - 1)\hat{y} \right] F_0/8\sqrt{2}$
- B  $\left[ -\hat{x} - (2\sqrt{2} - 1)\hat{y} \right] F_0/8\sqrt{2}$
- C  $\left[ \hat{x} - (2\sqrt{2} - 1)\hat{y} \right] F_0/8\sqrt{2}$
- D  $\left[ \hat{x} + (2\sqrt{2} - 1)\hat{y} \right] F_0/8\sqrt{2}$

der  $F_0 = q^2/4\pi\epsilon_0 a^2$ .



14) Fire punktladninger er plassert på  $x$ -aksen, som vist i figuren: Positive ladninger  $Q$  i  $x = a$  og  $x = -a$ , negative ladninger  $-2Q$  i  $x = a + b$  og  $x = -(a + b)$ . En positiv testladning  $q$  kan bevege seg friksjonsfritt og kun langs  $y$ -aksen. Denne slippes, med null hastighet, fra sin startposisjon  $y = \Delta y$  på den positive  $y$ -aksen. Hva skjer da med testladningen  $q$ ?

- A Den vil forsvinne mot  $y = \infty$ .
- B Den vil oscillere fram og tilbake omkring origo.
- C Den vil oscillere omkring en likevektsposisjon  $y_0 > 0$ .
- D Både A, B og C er mulig; utfallet avhenger av forholdet  $b/a$ .



15) To punktladninger tiltrekker hverandre med en kraft  $F$ . Hvor stor blir den tiltrekkende kraften dersom vi øker ladningenes innbyrdes avstand med 20 %?

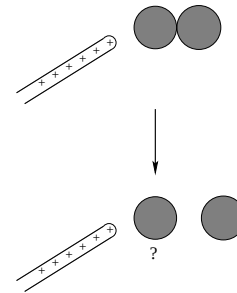
- A  $0.64 F$
- B  $0.69 F$
- C  $0.83 F$
- D  $1.44 F$

16) To kuler, 1 og 2, har like stor radius  $R$  og like stor ladning  $Q$ . Kulene vekselvirker ikke med hverandre. Kule 1 har ladningen jevnt fordelt utover overflaten mens kule 2 har ladningen jevnt fordelt utover hele volumet. Kule 1 har potensiell energi  $U_1$ , kule 2 har potensiell energi  $U_2$ . Finn det riktige svaret!

- A  $U_1 = Q^2/8\pi\epsilon_0 R$ ,  $U_2 = Q^2/20\pi\epsilon_0 R$
- B  $U_1 = Q^2/8\pi\epsilon_0 R$ ,  $U_2 = 3Q^2/20\pi\epsilon_0 R$
- C  $U_1 = 3Q^2/20\pi\epsilon_0 R$ ,  $U_2 = Q^2/8\pi\epsilon_0 R$
- D  $U_1 = Q^2/4\pi\epsilon_0 R$ ,  $U_2 = 3Q^2/20\pi\epsilon_0 R$

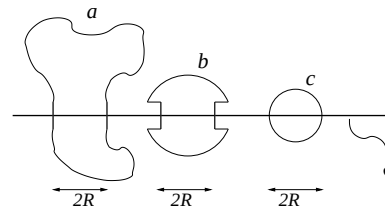
17) Du bringer en positivt ladet glass-stav nesten inntil den ene (den til venstre) av to nøytrale metallkuler som er i innbyrdes kontakt. Deretter fjerner du de to metallkulene fra hverandre. Da har metallkula til venstre fått

- A negativ ladning.
- B positiv ladning.
- C null netto ladning.
- D samme ladning som kula til høyre.



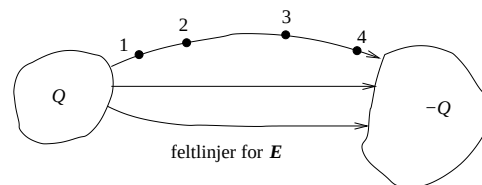
18) En uniformt ladet uendelig stor flate har ladning  $\sigma$  pr flateenhet. Tre gaussflater (lukkede flater)  $a$ ,  $b$  og  $c$  er vist i figuren. Alle de tre flatene omslutter en sirkelformet skive med radius  $R$  når de krysser den ladete flaten. Ranger de tre lukkede flatene  $a$ ,  $b$  og  $c$  i henhold til hvor stor netto elektrisk fluks som passerer ut gjennom dem.

- A  $a > b > c$
- B  $a > b = c$
- C  $a = b = c$
- D  $a < b < c$



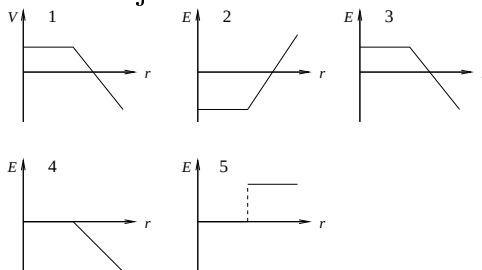
19) Figuren viser to elektriske ledere med ladning henholdsvis  $Q$  og  $-Q$ . Inntegnet er også noen av feltlinjene for det elektriske feltet. I hvilket av de nummererte punktene er det elektriske potensialet størst?

- A 1
- B 2
- C 3
- D 4



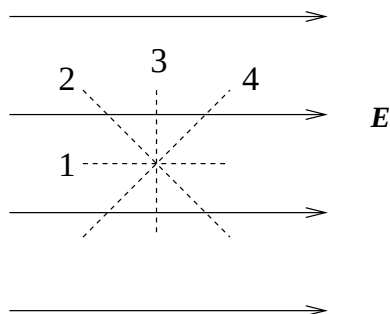
20) Hvis potensialet  $V$  som funksjon av avstanden  $r$  fra en ladningsfordeling er som vist i graf nr 1, hvilken graf viser da det elektriske feltet  $E$  som funksjon av avstanden  $r$ ?

- A 2
- B 3
- C 4
- D 5



21) Figuren viser et uniformt elektrisk felt  $\mathbf{E}$  (heltrukne linjer). Langs hvilken stiplet linje endrer potensialet seg ikke?

- A 1
- B 2
- C 3
- D 4



22) Potensialet i et område er

$$V(x) = 50 \text{ V} + (15 \text{ V/m})x$$

Det elektriske feltet i dette området er da

- A  $50 \text{ V } \hat{x}$
- B  $(15 \text{ V/m}) x \hat{x}$
- C  $(15 \text{ V/m}) \hat{x}$
- D  $-(15 \text{ V/m}) \hat{x}$

23) Potensialet i et område er

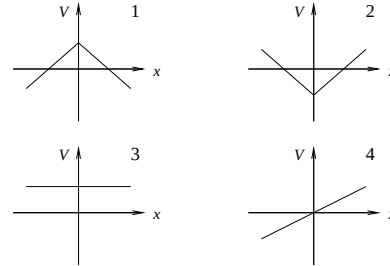
$$V(x, y, z) = (2 \text{ V/m})x + (3 \text{ V/m})y + (4 \text{ V/m})z$$

Da er  $x$ -komponenten av det elektriske feltet i dette området

- A  $-2 \text{ V/m}$
- B  $-3 \text{ V/m}$
- C  $-4 \text{ V/m}$
- D  $-9 \text{ V/m}$

24) Hvilken av grafene i figuren representerer potensialet  $V$  i nærheten av et uendelig stort uniformt og positivt ladet plan, lokalisert i  $yz$ -planet?

- A 1
- B 2
- C 3
- D 4



25) Potensialet på et uendelig stort positivt ladet plan er 20 V. Planet har en uniform ladningstetthet  $2 \text{ nC/m}^2$ . I hvilken avstand fra planet er da  $V = 0$ ?

- A 18 km
- B 18 m
- C 18 cm
- D 18 mm

26) Hvilket av følgende utsagn er riktig?

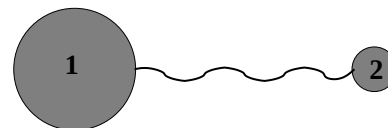
- A Ekvipotensialflater for en punktladning er terninger konsentriske med ladningen.
- B Elektrisk potensial er en vektorstørrelse.
- C Elektrisk potensial måles i enheten N/C.
- D Ekvipotensialflater står vinkelrett på elektriske feltlinjer.

27) En metallkule har radius 30 cm. Hvor mye ladning kan akkumuleres på en slik kule før vi får overslag ("coronautladning") i lufta omkring? Overslag i luft inntreffer hvis det elektriske feltet blir større enn  $3 \text{ MV/m}$ .

- A  $30 \mu\text{C}$
- B  $20 \mu\text{C}$
- C  $10 \mu\text{C}$
- D  $3 \mu\text{C}$

28) To ladete metallkuler er forbundet med en metalltråd. Kule 1 er større enn kule 2. Potensialet på kule 1

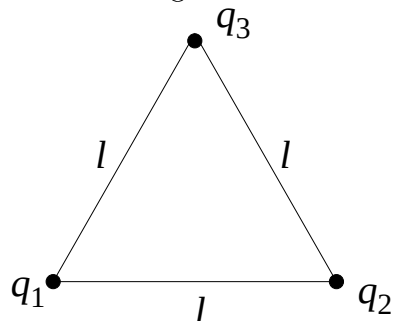
- A er mindre enn potensialet på kule 2.
- B er like stort som potensialet på kule 2.
- C er større enn potensialet på kule 2.
- D kan være større eller mindre enn på kule 2, avhengig av forholdet mellom kulenes radier.





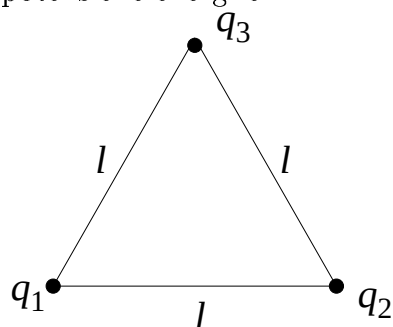
29) Tre punktladninger  $q_1 = 5\mu\text{C}$ ,  $q_2 = 10\mu\text{C}$  og  $q_3 = 15\mu\text{C}$  er plassert i hvert sitt hjørne av en likesidet trekant med sider  $l = 50\text{ cm}$ . Systemets potensielle energi er

- A 4.95 J
- B 5.95 J
- C 6.95 J
- D 7.95 J



30) Tre punktladninger  $q_1 = 5\mu\text{C}$ ,  $q_2 = -10\mu\text{C}$  og  $q_3 = 15\mu\text{C}$  er plassert i hvert sitt hjørne av en likesidet trekant med sider  $l = 50\text{ cm}$ . Systemets potensielle energi er

- A 2.25 J
- B 0.25 J
- C - 2.25 J
- D - 4.25 J

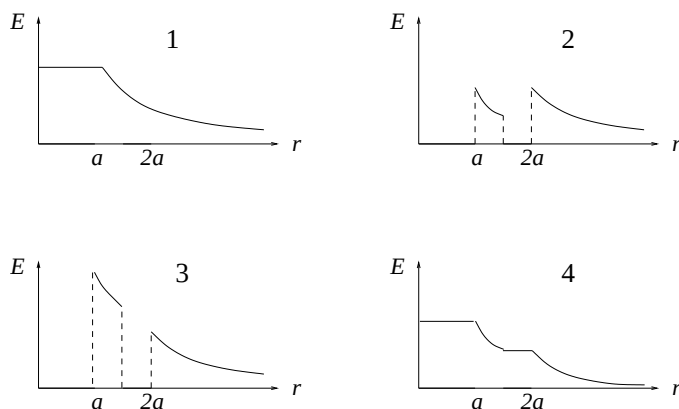
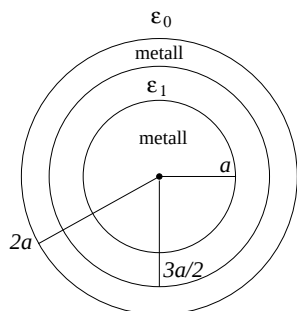


31) Den potensielle energien til to elektroner i innbyrdes avstand  $1\text{ \AA}$  ( $= 10^{-10}\text{ m}$ ) er [ $1\text{ eV} = 1.6 \cdot 10^{-19}\text{ J}$ ]

- A 14.4 meV
- B 14.4 eV
- C 14.4 keV
- D 14.4 MeV

32) Ei metallkule med radius  $a$  har nettoladning  $q > 0$  (figuren nedenfor til venstre). Den er belagt med et lag elektrisk nøytral plast med tykkelse  $a/2$ . Deretter følger et elektrisk nøytralt metallisk kuleskall med tykkelse  $a/2$ . Utenfor dette har vi vakuum. Plasten er et dielektrikum med permittivitet  $\varepsilon_1 = 4\varepsilon_0$ . Hvilken av de fire grafene i figuren nedenfor til høyre illustrerer det elektriske feltet  $E$  som funksjon av avstanden  $r$  fra metallkulas sentrum?

- A 1
- B 2
- C 3
- D 4



33) En parallellplatekondensator består av to like store metallplater, hver med areal  $A$ , med innbyrdes avstand  $d$ . Med ladning  $Q$  og  $-Q$  på de to platene er potensialforskjellen mellom dem  $\Delta V$ . Kondensatorens kapasitans  $C$  er definert som  $C = Q/\Delta V$ . Anta at platenes lineære utstrekning ( $\sqrt{A}$ ) er mye større enn avstanden mellom dem, og at rommet mellom platene er fylt med luft ( $\simeq$  vakuum). Da blir kondensatorens kapasitans

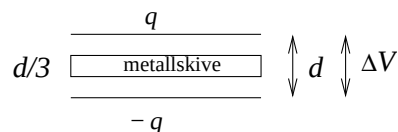
- A  $C = \varepsilon_0 d/A$
- B  $C = \varepsilon_0 A/d$
- C  $C = d/\varepsilon_0 A$
- D  $C = A/\varepsilon_0 d$

34) En parallellplatekondensator har kvadratiske plater med sidekanter 1 cm og avstand 1 mm mellom platene. Hvor stor er kondensatorens kapasitans dersom den er fylt med luft (vakuum)?

- A 0.9 pF
- B 0.9 nF
- C 0.9  $\mu$ F
- D 0.9 mF

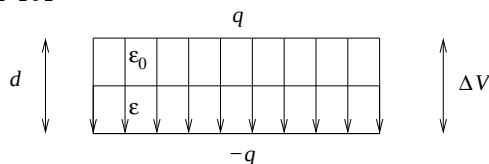
35) En parallellplatekondensator består av to tilnærmet uendelig store parallelle metallplater i innbyrdes avstand  $d$ . De to metallplatene har ladning henholdsvis  $q$  og  $-q$ . Med vakuum i hele rommet mellom platene er kapasitansen  $C_0$ . En metallskive med tykkelse  $d/3$ , og med samme areal som de to opprinnelige metallplatene, settes inn mellom platene som vist i figuren. Da blir kondensatorens kapasitans  $C_1$  lik

- A  $C_1 = 2C_0/3$
- B  $C_1 = C_0$
- C  $C_1 = 3C_0/2$
- D  $C_1 = 3C_0$



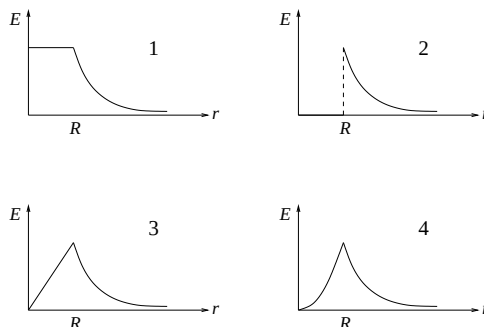
36) To tilnærmet uendelig store parallelle metallplater ligger i innbyrdes avstand  $d$ . De to metallplatene har ladning henholdsvis  $q$  og  $-q$ . Et dielektrikum med permittivitet  $\varepsilon > \varepsilon_0$  fyller den nederste halvdelen av rommet mellom platene, som vist i figuren. I den øverste halvdelen har vi vakuum. Pilene i figuren angir da feltlinjer for

- A elektrisk forskyvning  $\mathbf{D}$
- B elektrisk felt  $\mathbf{E}$
- C polarisering  $\mathbf{P}$
- D både  $\mathbf{D}$  og  $\mathbf{E}$



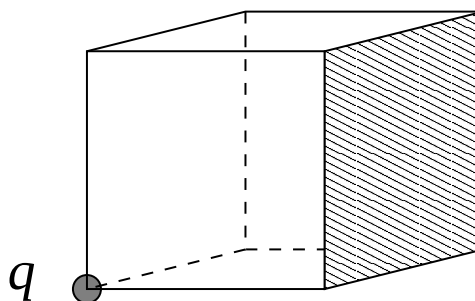
37) Ei kule med radius  $R$  har en ladningstetthet, dvs ladning pr volumenhet, som er proporsjonal med avstanden  $r$  fra kulas sentrum:  $\rho(r) = kr$  ( $k = \text{konstant}$ ). Fastslå, ved hjelp av Gauss' lov, hvilken graf i figuren til høyre som representerer den resulterende elektriske feltstyrken  $E$  som funksjon av  $r$ .

- A 1
- B 2
- C 3
- D 4



38) En punktladning  $q$  er plassert i det ene hjørnet av en kube. Hva blir den elektriske fluksen gjennom den skraverte sideflaten i figuren til høyre?

- A  $q/\varepsilon_0$
- B  $q/4\varepsilon_0$
- C  $q/8\varepsilon_0$
- D  $q/24\varepsilon_0$



39) En berylliumkjerne med ladning  $4e$  og masse  $9m_p$  og en  $\alpha$ -partikkel (dvs en heliumkjerne) med ladning  $2e$  og masse  $4m_p$  er i ro. De to partiklene kan gis like stor hastighet ved å

- A akselerere dem gjennom en like stor potensialforskjell.
- B akselerere  $\alpha$ -partikkelen gjennom  $V$  volt og berylliumkjernen gjennom  $V/2$  volt.
- C akselerere  $\alpha$ -partikkelen gjennom  $V$  volt og berylliumkjernen gjennom  $8V/9$  volt.
- D akselerere  $\alpha$ -partikkelen gjennom  $V$  volt og berylliumkjernen gjennom  $9V/8$  volt.

40) Et vannmolekyl har dipolmoment  $p = 6.2 \cdot 10^{-30}$  Cm. En liter vann inneholder ca 55.6 mol, der  $1 \text{ mol} = 6.02 \cdot 10^{23}$  molekyler. Hva blir da øvre teoretiske grense for elektrisk polarisering  $P$  i en liter vann?

- A  $P = 6.2 \cdot 10^{-8} \text{ C/m}^2$
- B  $P = 9.7 \cdot 10^{-5} \text{ C/m}^2$
- C  $P = 1.4 \cdot 10^{-3} \text{ C/m}^2$
- D  $P = 0.21 \text{ C/m}^2$