

Bokmål

Kandidatnr.....

Studieretning.....

Norges teknisk-naturvitenskapelig universitet  
 Institutt for fysikk, NTNU  
 TFY4125 Fysikk, vår 2009

Faglig kontakt under eksamen:  
 Navn: Dag W. Breiby  
 Tlf.: 984 54213

**EKSAMEN I EMNE TFY4125 – FYSIKK**

Tirsdag 19. mai 2009

Tid: 0900-1300

Tillatte hjelpemidler: Kode C:

Typegodkjent kalkulator, med tomt minne  
 K. Rottmann: Matematisk Formelsamling  
 S. Barnett & T.M. Cronin: Mathematical Formulae

Eksamenssettet er utarbeidet av førsteamanuensis Dag W. Breiby og professor Tore Lindmo og består av:

Forsiden (denne siden) som skal leveres inn som svar på flervalgsoppgaven (Oppgave 4).  
 Oppgavetekst til vanlige oppgaver 1-3 side 2-5  
 Ett sett med 10 flervalgsspørsmål i oppgave 4 side 6-8  
 Vedlegg: Formelark for emne TFY4102 side 9-11

Hvert delspørsmål a) b) etc. i de vanlige oppgavene 1-3 teller likt, med til sammen 60 % for alle 12 delspørsmål. Oppgave 4 med flervalgsspørsmål teller 20 %. De resterende 20 % utgjøres av midtsemesterprøven.

Ved besvarelsen av flervalgsspørsmål skal bare ett av svaralternativene angis. Riktig svar gir 1 poeng, feil svar 0 poeng. Det gis ikke tilleggspoeng for notater i marg e.l.

Svar på flervalgsspørsmål i Oppgave 4  
 (riv av denne siden og lever den sammen med besvarelsen)

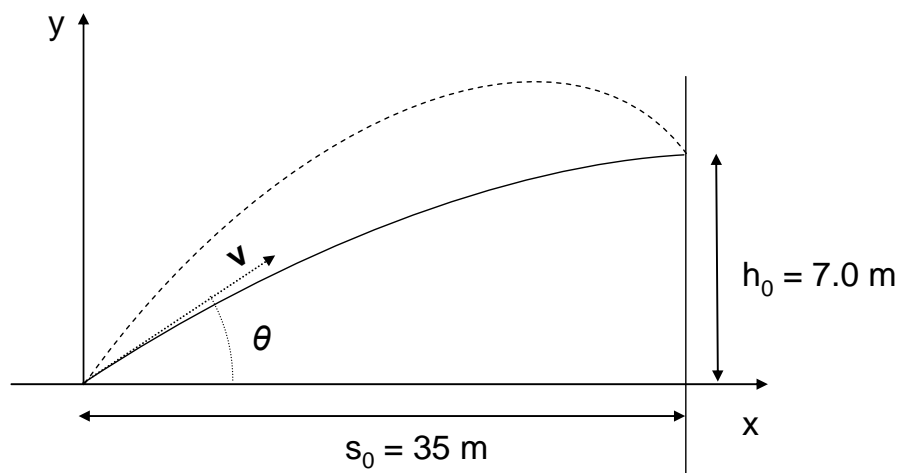
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |

### Oppgave 1. Bil krasjet i kirketaket



*Bilen satt fast i kirketaket, syv meter over bakken (Foto: Reuters).*

Vi kunne lese følgende i Aftenposten 26. januar 2009 om en bildesperado i Sachsen:  
*Bilføreren mistet kontrollen i en sving, og braste gjennom en veisperring. I svært høy fart kjørte han opp en skrent som fungerte som et springbrett, og den svarte Skodaen fløy 35 meter gjennom luften før den krasjet i kirketaket, syv meter over bakken.*



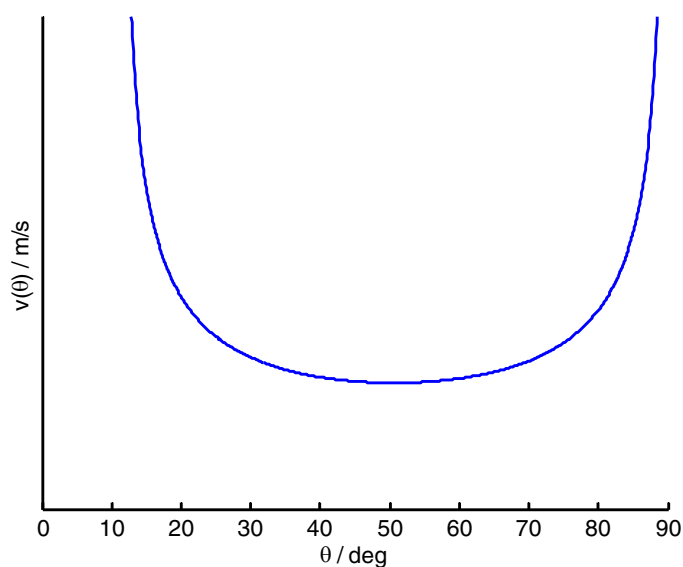
Det er mulig å beregne den minimumshastigheten  $v_{\min}$  som gjør at en bil kan "fly" og treffe et bestemt punkt slik det står beskrevet ovenfor. Flyturen kan beskrives som en kastbevegelse (parabel), hvor bilen treffer et punkt  $h_0 = 7$  m over bakken etter en (horisontal) flytur på  $s_0 = 35$  m. Det stod ikke spesifisert i avisen hvor bratt skrenten var, men den teoretisk minst mulige hastigheten  $v_{\min}$  må være for en spesiell vinkel  $\theta$ . To mulige baner med forskjellig utgangsvinkel  $\theta$  og utgangshastighet  $v$  er skissert i figuren ovenfor. Vi vil først beregne hva  $v$  må være for en gitt  $\theta$ , og deretter finne den vinkelen som minimerer  $v$ . Vi neglisjerer luftmotstand.

- a) Vis at nødvendig utgangshastighet,  $v(\theta)$ , for at bilen skal nå treffpunktet er gitt ved

$$v(\theta) = s_0 \sqrt{\frac{g}{2 \cos \theta (s_0 \sin \theta - h_0 \cos \theta)}}$$

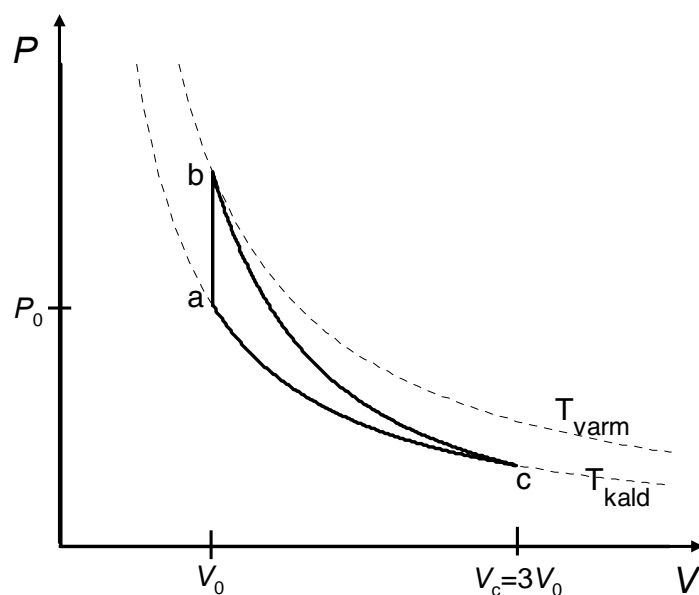
*Hint:* Finn først uttrykk for bilens posisjon som funksjon av tid, dvs.  $x(t)$  og  $y(t)$ , og bruk bevegelsen i  $x$ -retning til å finne et uttrykk for  $t$  som kan settes inn i uttrykket for  $y$ .

- b) Ligningen i a) viser at  $v(\theta)$  divergerer (går mot uendelig) for en kritisk vinkel  $\theta_c < 90^\circ$ . Finn et uttrykk for  $\theta_c$ , og gi det en fysisk tolking. Regn ut tallverdien for  $\theta_c$ . Forklar hva som skjer hvis  $\theta < \theta_c$ .
- c) Uttrykket i a) er vist grafisk i figuren nedenfor. Estimer fra grafen hvilken verdi av  $\theta$  som minimerer  $v$ , og beregn den tilhørende verdien  $v_{\min}$ . Er du enig med avisen i at bilen nødvendigvis hadde "svært høy fart"?



- d) Hvis bilens masse er 1400 kg, og den har trengt 2 m inn i kirketaket før den stopper, hva blir da den gjennomsnittlige (kollisjons-) kraften som har virket på bilen under kollisjonen med kirketaket? Over hvor lang tid har denne kraften virket (dvs. kollisjonens varighet)? Anta at bilen hadde den hastighet og utgangsvinkel som er funnet i c). Hint: Finn først den hastigheten bilen hadde da den traff taket.

## Oppgave 2. Varmekraftmaskin



En kretsprosess for en varmekraftmaskin består av en isokor fra  $a$  med koordinater  $(P_0, V_0)$  til  $b$ , en adiabat derfra til  $c$  og en isoterm med temperatur  $T_{\text{kald}} = T_0$  tilbake til  $a$ , se  $PV$ -diagram. Arbeidssubstansen er en to-atomig (diatomær) ideell gass med  $\gamma = 7/5$ .

- Finne uttrykk for tilstandsvariablene  $T_{\text{varm}}$ ,  $P_b$  og  $P_c$  uttrykt ved  $P_0$ ,  $V_0$ ,  $T_0$ , og  $\gamma$ .
- Utled uttrykk for arbeidet utført i hver av delprosessene  $ab$ ,  $bc$  og  $ca$  ut ifra definisjonsligningen for arbeid utført av en gass. *Hint*: Termodynamikkens 1. hovedsetning kan også være nyttig, i likhet med sammenhengen  $c_V/R = 1/(\gamma - 1)$ .
- Vis at arbeidet  $W_{\text{net}}$  for et helt omløp kan uttrykkes

$$W_{\text{net}} = P_0 V_0 \left( \frac{3^{\gamma-1} - 1}{\gamma - 1} - \ln 3 \right)$$

Finne tall svar for arbeidet utført per syklus når  $P_0 = 2.00 \cdot 10^5$  Pa og  $V_0 = 2.00$  L. Finne også effekten når prosessen kjører med 1000 sykler per minutt.

- Beregn varmen  $Q$  som blir avgitt eller tilført i hvert prosessstinn. Angi både symboluttrykk og tall svar.
- Beregn virkningsgraden  $\varepsilon$ . Hva ville virkningsgraden for en Carnot-maskin mellom temperaturene  $T_{\text{kald}}$  og  $T_{\text{varm}}$  vært? Gi begge svarene både som symboluttrykk og tall svar.

### Oppgave 3. Magnetiske og elektriske krefter, elektrostatisk potensial

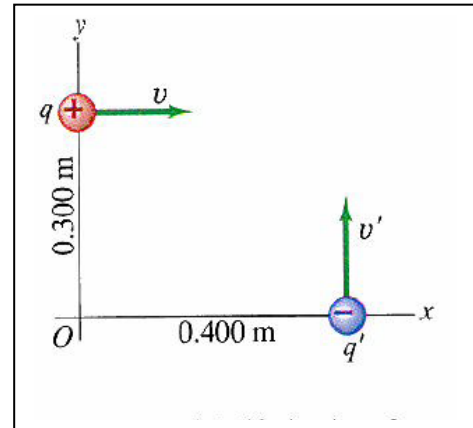
To punktladninger  $q=+8.00 \mu\text{C}$  og  $q'=-5.00 \mu\text{C}$  beveger seg som vist i forhold til koordinatsystemet i figuren.  $z$ -aksen står vinkelrett ut av papirplanet. Partiklene har fart  $v=9.00 \cdot 10^4 \text{ m/s}$  og  $v'=6.50 \cdot 10^4 \text{ m/s}$ , med retninger som angitt.

a) Bestem retningen og størrelsen på magnetfeltet  $B$  som  $q$  genererer i posisjonen til  $q'$ , og bestem retning og størrelse for den kraftvirkningen dette magnetfeltet forårsaker på  $q'$ .

*I resten av oppgaven står partiklene i ro i posisjonene som figuren viser.*

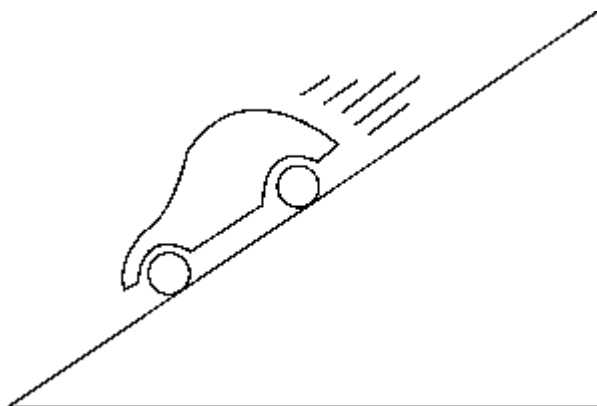
b) Bestem retning og størrelse på den elektrostatiske kraften som virker på hver av partiklene.

c) Hva er verdien av det elektrostatiske potensialet generert av  $q$  i posisjonen for  $q'$ , og hvilken elektrostatisk potensiell energi har partikkelsystemet?

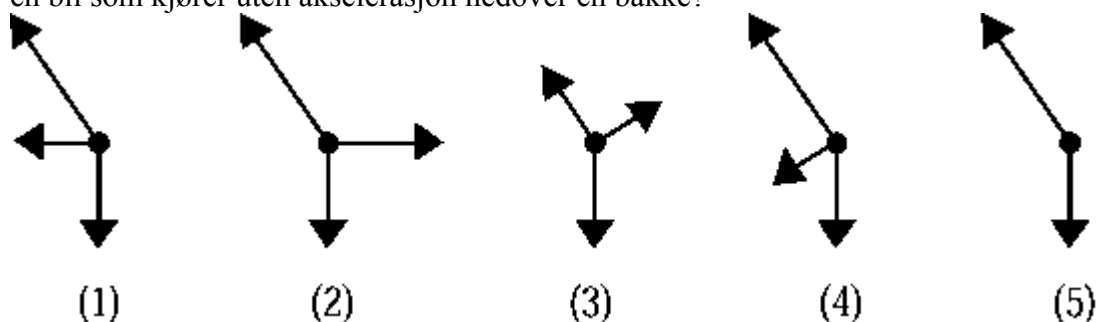


**Oppgave 4. Flervalgsspørsmål** (skriv svarene i tabellen på side 1)

1.



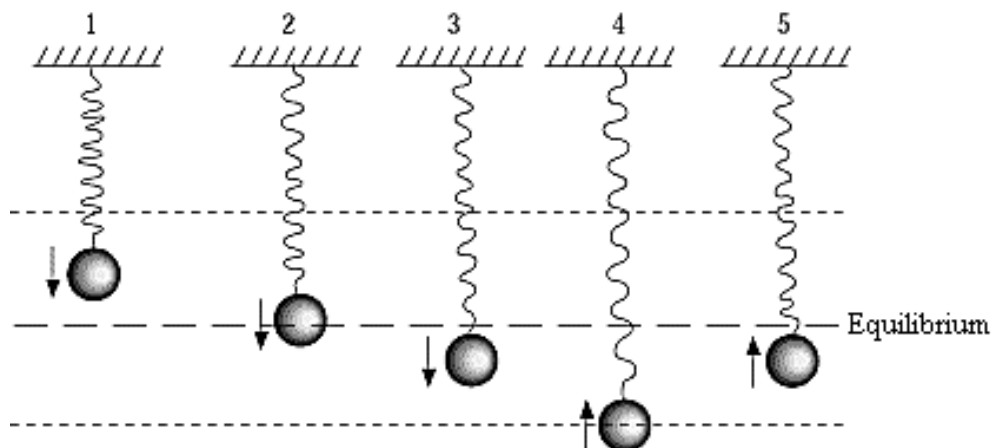
Hvilket av de følgende fritt-legeme-diagrammene representerer kreftene som virker på en bil som kjører uten akselerasjon nedover en bakke?



A) 1   B) 2   C) 3   D) 4   E) 5

2. En gjenstand blir påvirket av en konstant kraft  $F$  slik at den forflytter seg distansen  $\Delta \mathbf{s} = 6\hat{x} - 4\hat{y} + 2\hat{z}$ .  $\mathbf{F} = -3\hat{x} + 6\hat{y} - 9\hat{z}$ . Hvis alle verdier er oppgitt i SI-enheter, så blir arbeidet som kraften  $\mathbf{F}$  har utført på gjenstanden  
 A)  $-42 \text{ J}$    B)  $-36 \text{ J}$    C)  $-30 \text{ J}$    D)  $-53 \text{ J}$    E)  $-60 \text{ J}$
3. Energien i en harmonisk oscillator dobles ved å øke amplituden med en faktor  
 A) 0.7   B) 1.0   C) 1.4   D) 2.0   E) 4.0

4.



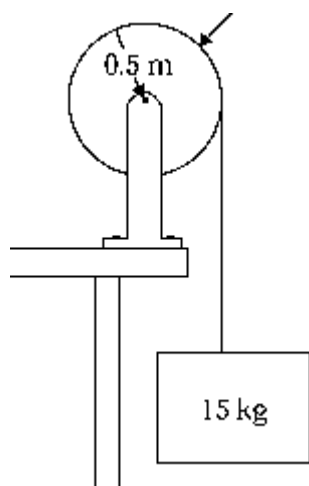
En kule opphengt i en spiralfjær er satt i harmonisk svingning omkring den viste likevektsposisjonen (Equilibrium). Den figuren som viser situasjonen med maksimal akselerasjon er

- A) 1 B) 2 C) 3 D) 4 E) 5

5. Oksygen- (molar masse = 32 g/mol) og nitrogenmolekylene (molar masse = 28 g/mol) i eksamenslokalet har lik gjennomsnittlig

- A) kinetisk energi, men oksygenmolekylene beveger seg raskere.  
 B) kinetisk energi, men oksygenmolekylene beveger seg langsommere.  
 C) kinetisk energi og fart.  
 D) fart, men oksygenmolekylene har større gjennomsnittlig kinetisk energi.  
 E) fart, men oksygenmolekylene har mindre gjennomsnittlig kinetisk energi.

6)



Tregghetsmomentet til hjulet på figuren er  $0.50 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ , og hjulet kan rotere friksjonsløst. Akselerasjonen til massen på 15 kg er tilnærmet

- A)  $9.8 \text{ m/s}^2$  B)  $8.7 \text{ m/s}^2$  C)  $74 \text{ m/s}^2$  D)  $16 \text{ m/s}^2$  E)  $0.53 \text{ m/s}^2$

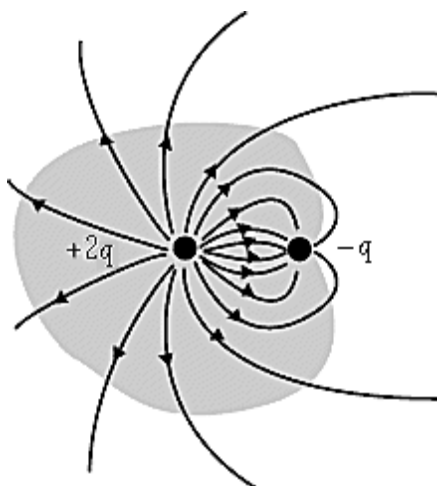
7. Et termodynamisk system føres gjennom en rekke små likevektstrinn fra en tilstand I til en tilstand II. Størrelser som brukes for å karakterisere en slik prosess er

- 1 indre energi,
- 2 entropi,
- 3 temperatur,
- 4 arbeid,
- 5 varmemengde.

I slutt-tilstanden er følgende av de ovennevnte størrelsene uavhengige av prosessveien mellom de to tilstandene

- |                |                |
|----------------|----------------|
| A) 1, 2, og 3. | D) 1, 3, og 5. |
| B) 2, 3, og 4. | E) 2, 3, og 5. |
| C) 3, 4, og 5. |                |

8.



Figuren viser en flate som omslutter ladningene  $2q$  og  $-q$ . Netto elektrisk fluks gjennom flaten er

- A)  $q/\epsilon_0$    B)  $2q/\epsilon_0$    C)  $-q/\epsilon_0$    D) null   E) Ingen av svarene A-D er korrekte.

9. Et 12-V bilbatteri kan levere 60 A til startmotoren over en tid på 2.5 s for å få bilens motor til å starte. I løpet av denne tiden er det elektriske energiforbruket.

- |                        |                        |
|------------------------|------------------------|
| A) $1.8 \times 10^3$ J | D) $3.6 \times 10^3$ J |
| B) $2.2 \times 10^4$ J | E) $4.5 \times 10^3$ J |
| C) $7.2 \times 10^2$ J |                        |

10. Størrelsen på den magnetiske fluksen gjennom en strømsløyfe varierer med tiden som

$$\phi_m = 6t^2 + 7t + 1$$

Alle tallverdier er i SI-enheter. Den elektromotoriske spenningen som induseres i sløyfen er ved tiden  $t = 2$  s

- A) 48 V   B) 39 V   C) 40 V   D) 31 V   E) 19 V



**Formelliste for emnet TFY4125 Fysikk, våren 2009.**Vektorstørrelser er i **uthevet** skrift.**Fysiske konstanter:**

$$\text{Ett mol: } M(^{12}\text{C}) = 12 \text{ g} \quad 1 \text{ u} = 1.6605 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \quad N_A = 6.0221 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

$$k_B = 1.3807 \cdot 10^{-23} \text{ J/K} \quad R = N_A k_B = 8.3145 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \quad 0^\circ\text{C} = 273.15 \text{ K}$$

$$\epsilon_0 = 8.8542 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2 \quad \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2$$

$$e = 1.6022 \cdot 10^{-19} \text{ C} \quad m_e = 9.1094 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

$$c = 2.9997 \cdot 10^8 \text{ m/s} \quad h = 6.6261 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \quad g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

**Mekanikk:**

$$\frac{d\mathbf{p}}{dt} = \mathbf{F}(\mathbf{r}, t), \text{ der } \mathbf{p}(\mathbf{r}, t) = m\mathbf{v} = m d\mathbf{r} / dt; \mathbf{F} = m\mathbf{a}$$

$$\text{Konstant } a: v = v_0 + at; s = s_0 + v_0 t + \frac{1}{2} at^2; 2as = v^2 - v_0^2$$

$$dW = \mathbf{F} \cdot d\mathbf{s}; K = \frac{1}{2} mv^2; U(\mathbf{r}) = \text{potensiell energi. (tyngde: } mgh; \text{ fjær: } \frac{1}{2} kx^2)$$

$$\mathbf{F} = -\nabla U; F_x = -\frac{\partial}{\partial x} U(x, y, z); E = \frac{1}{2} mv^2 + U(\mathbf{r}) + \text{friksjonsarbeid} = \text{konst.}$$

$$\text{Tørr friksjon: } |F_f| = \mu_s \cdot F_\perp \text{ eller } |F_f| = \mu_k \cdot F_\perp; \text{Viskøs friksjon: } |F_f| = -k_f v; \mathbf{F}_f = -k_f \mathbf{v}$$

$$\text{Dreiemoment: } \boldsymbol{\tau} = (\mathbf{r} - \mathbf{r}_0) \times \mathbf{F} = I\boldsymbol{\alpha}, \text{ der } \mathbf{r}_0 \text{ er valgt ref.punkt og } I \text{ treghetsmomentet. } dW = \boldsymbol{\tau} \cdot d\boldsymbol{\theta}$$

$$\text{Statisk likevekt: } \mathbf{F} = \sum_i \mathbf{F}_i = \mathbf{0}, \boldsymbol{\tau} = \sum_i \boldsymbol{\tau}_i = \mathbf{0}.$$

$$\text{Massemidelpunkt (tyngdepunkt): } \mathbf{R} = (1/M) \sum_i m_i \mathbf{r}_i, M = \sum_i m_i$$

$$\text{Elastisk støt: } \sum_i \mathbf{p}_i = \text{konstant}; \sum_i E_i = \text{konstant. Uelastisk støt: } \sum_i \mathbf{p}_i = \text{konstant.}$$

$$\text{Impuls: } \mathbf{I} = \Delta \mathbf{p}, \mathbf{I} = \int \mathbf{F}(t) dt.$$

$$\text{Vinkelhast.: } \boldsymbol{\omega} = \omega \hat{\mathbf{z}}; |\boldsymbol{\omega}| = \omega = d\theta / dt; \text{Vinkelakselerasjon: } \boldsymbol{\alpha} = d\boldsymbol{\omega} / dt; \alpha = d\omega / dt = d^2\theta / dt^2$$

$$\text{Sirkelbevegelse: } \mathbf{v} = \boldsymbol{\omega} \mathbf{r}; v = \omega r; \text{Sentripetalakselerasjon } a_r = -v\omega = -v^2 / r = -r\omega^2$$

$$\text{Baneaks.: } a_\theta = dv / dt = r d\omega / dt = r\alpha; \text{Rotasjonsenergi: } K_{rot} = \frac{1}{2} I\omega^2, \text{ der } I \text{ er treghetsmomentet.}$$

$$I \equiv \sum_i m_i r_{\perp i}^2 \rightarrow \int_V dV \rho r_{\perp}^2. \text{ Akse gjennom massemidelpunktet: } I \rightarrow I_0.$$

$$\text{Massiv kule: } I_0 = \frac{2}{5} MR^2; \text{Kuleskall: } I_0 = \frac{2}{3} MR^2; \text{Kompakt sylinder / skive: } I_0 = \frac{1}{2} MR^2;$$

$$\text{Lang, tynn stav: } I_0 = \frac{1}{12} ML^2; \text{Parallellakse teoremet (Steiners sats): } I = I_0 + Mb^2$$

Betingelser for ren rulling:  $v = \omega R$ ;  $a = \alpha R$ .

Dreieimpuls:  $\mathbf{L} = \mathbf{r} \times \mathbf{p} = \mathbf{r} \times m\mathbf{v}$ . Spinn:  $\mathbf{L}_{egen} = I_0 \boldsymbol{\omega}$ .  $\boldsymbol{\tau} = d\mathbf{L} / dt$ .

Hydrostatisk trykk:  $P(h) = P_0 + \rho gh$ ;  $m = \rho V$ ;

Bernoulli, langs strømlinje:  $P + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh = konst.$

### \_\_\_\_\_ Svingninger: \_\_\_\_\_

Udempet svingning:  $\ddot{x} + \omega_0^2 x = 0$ ;  $\omega_0 = \sqrt{k/m}$ ;  $T = 2\pi/\omega_0$ ;  $f_0 = 1/T = \omega_0/2\pi$

Pendel:  $\ddot{\theta} + \omega_0^2 \sin \theta = 0$ ; Fysisk pendel:  $\omega_0 = \sqrt{gmd/I}$ ; Matematisk pendel:  $\omega_0 = \sqrt{g/l}$

### \_\_\_\_\_ Termisk fysikk: \_\_\_\_\_

$n$  = antall mol;  $N = nN_A$  = antall molekyler;  $f$  = antall frihetsgrader;  $\alpha = l^{-1} dl / dT$

$Q_{in} = \Delta U + W$ ;  $C = \frac{\Delta Q}{\Delta T}$ ;  $c = C/m$ , evt.  $c = C/n$  (Varmekap. pr. masseenhet eller pr. mol)

$PV = nRT = Nk_B T$ ;  $PV = N \frac{2}{3} \langle K \rangle$ ;  $\langle K \rangle = \frac{1}{2} m \langle v^2 \rangle = \frac{3}{2} m \langle v_x^2 \rangle$ ;  $\Delta W = P \Delta V$ ;  $W = \int_1^2 P dV$

$C_v = \frac{1}{2} n f R$ ;  $C_p = \frac{1}{2} (f + 2) n R = C_v + n R$ ;  $dU = C_v \cdot dT$ .

For ideell gass:  $\gamma \equiv C_p / C_v = (f + 2) / f$ . Adiatat:  $PV^\gamma = konst.$ ;  $TV^{\gamma-1} = konst.$

Virkningsgrader for varmekraftmaskiner:  $\epsilon = W / Q_v$ ; Carnot:  $\epsilon = 1 - T_k / T_v$ ; Otto:  $\epsilon = 1 - 1/r^{\gamma-1}$

Kjøleskap:  $\eta_K = \left| \frac{Q_k}{W} \right| \frac{Carnot}{T_v - T_k} \frac{T_k}{T_v - T_k}$ ; Varmepumpe:  $\eta_{VP} = \left| \frac{Q_v}{W} \right| \frac{Carnot}{T_v - T_k} \frac{T_v}{T_v - T_k}$

Clausius:  $\sum \frac{\Delta Q}{T} \leq 0$ ;  $\oint \frac{dQ}{T} \leq 0$ ; Entropi:  $dS = \frac{dQ_{rev}}{T}$ ;  $\Delta S_{12} = \int_1^2 \frac{dQ_{rev}}{T}$ ;  $S = k_B \ln W$

Entropiendring i en ideell gass:  $\Delta S_{12} = C_v \ln(T_2 / T_1) + nR \ln(V_2 / V_1)$

---

**Elektrisitet og magnetisme:**


---

Coulomb:  $\mathbf{F}(\mathbf{r}) = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\epsilon_0 r^2} \hat{\mathbf{r}}; \mathbf{E}(\mathbf{r}) = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \hat{\mathbf{r}}; V(r) = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r}.$

Elektrisk felt:  $\mathbf{E} = -\nabla V = -\left\langle \frac{\partial V}{\partial x}, \frac{\partial V}{\partial y}, \frac{\partial V}{\partial z} \right\rangle \rightarrow -\frac{dV}{dx} \hat{\mathbf{x}}.$

Elektrisk potensial:  $\Delta V = V_b - V_a = -\int_a^b \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s}. \Delta U = Q\Delta V$

1. Gauss lov  $\oint_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{A} = \oint_S E_n dA = \frac{Q}{\epsilon_0}$

2. Gauss lov for magnetisme  $\oint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A} = \oint_S B_n dA = 0$

3. Faradays lov  $\oint_C \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} = emf = -\frac{d\Phi_m}{dt} = -\frac{d}{dt} \int_S B_n dA = -\int_S \frac{\partial B_n}{\partial t} dA$

4. Amperes lov  $\oint_C \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} = \mu_0 (I + I_d), I_d = \epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} = \epsilon_0 \int_S \frac{\partial E_n}{\partial t} dA$

Fluks:  $\Phi_E = \int_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{A} = \int_S E_n \cdot dA; \Phi_M = \int_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A} = \int_S B_n \cdot dA.$

Kapasitans:  $C \equiv \frac{Q}{V}$  For platekondensator:  $C = \frac{\epsilon_0 A}{d}. U = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} Q^2 / C.$

Energitetthet:  $u_E = \frac{U_E}{\text{volum}} = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2; u_B = \frac{U_B}{\text{volum}} = \frac{1}{2\mu_0} B^2$

Biot-Savarts lov:  $d\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} I \frac{d\mathbf{l} \times \hat{\mathbf{r}}}{r^2}. \mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Q\mathbf{v} \times \hat{\mathbf{r}}}{r^2}$

Lorentzkraften:  $\mathbf{F} = Q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B}); \mathbf{F} = I(\mathbf{l} \times \mathbf{B}).$