

kompendium i fysik

4. udgave 1990

F&K Forlaget

kompendium i fysik

4. udgave 1990

F&K Forlaget

Kompendium i Fysik

Redaktion:

Claus Christensen
Niels Hartling
Steen Hoffmann
Carl P. Knudsen
Arne Mikkelsen

Tegninger:

Claus Christensen

Tilrettelæggelse:

Steen Hoffmann

Kompendiet er sat med Times og trykt hos
Budolfi Tryk, Aalborg

4. udgave 1990

ISBN 87-87229-50-1

Udgivet af Undervisningsministeriet, Gymnasieafdelingen
i samarbejde med Fysiklærerforeningen.

Fotografisk genoptryk af værket til brug for salg er ikke tilladt.
Kopiering til eget brug i øvrigt kan frit finde sted.

Forord

Denne 4. udgave af Kompendium i Fysik er et tilladt hjælpemiddel ved den skriftlige eksamen i valgfaget fysik på højt niveau. De øvrige tilladte hjælpemidler er Matematisk Formelsamling for obligatorisk niveau samt en lomme-regner af godkendt type.

Pensum til den skriftlige eksamen i valgfaget fysik på højt niveau består af kernestoffet i fysik på obligatorisk niveau og kernestoffet i fysik på højt niveau. Det har været hensigten, at kompendiet også kan bruges i den daglige undervisning, ikke bare som et værktøj ved opgaveregning, men som et middel til at skabe overblik over stoffet.

Kompendiets betegnelser for de forskellige fysiske størrelser, deres måleenheder og symbolerne for dem følger i næsten alle tilfælde officiel Dansk Standard. Betydningen af symbolerne er som regel forklaret i den tekst, som hører til den enkelte formel, ellers findes den i indledningen til afsnittet. Nogle af formlerne er kun gyldige under visse forudsætninger, der ikke altid er anført eksplicit.

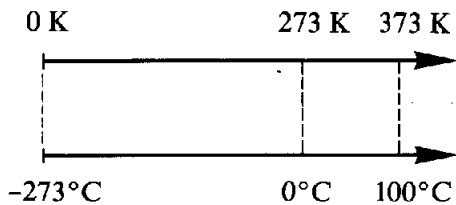
Undervisningsministeriet, Gymnasielærerforeningen.

Den 22. juni 1990

Uffe Gravers Pedersen.

Energi og varme

Fysisk størrelse	SI-enhed
E : Energi	J joule
Q : Varmemængde	J joule
A : Arbejde	J joule
T : Kelvintemperatur	K kelvin
t : Celsiustemperatur	°C
C : Varmekapacitet	J/K
c : Specifik varmekapacitet	J/(kg · K)
m : Masse	kg kilogram



$$T/\text{K} = t/^{\circ}\text{C} + 273 \quad \text{V1}$$

T er kelvintemperaturen, og t er celsiustemperaturen. Temperaturforskelle har samme talværdi på de to skalaer.

$$Q = C \cdot \Delta T \quad \text{V2}$$

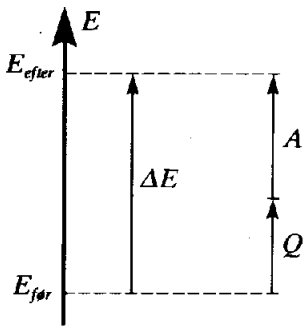
Q er den varmemængde, som tilføres et system, når systemet har varmekapaciteten C , og temperaturstigningen er ΔT .

$$C = m \cdot c \quad \text{V3}$$

C er varmekapaciteten af en mængde med massen m af et stof med den specifikke varmekapacitet c .

$$Q = m \cdot L \quad \text{V4}$$

Q er den varmemængde, som en stofmængde afgiver eller modtager, når den skifter tilstandsform (fordamper, fortætter, smelter, størkner). L er stoffets specifikke overgangsvarme (fordampningsvarme, smeltevarme), og m er stofmængdens masse.



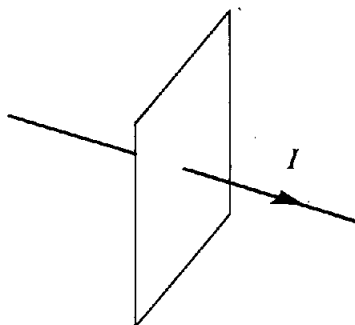
$$\Delta E = Q + A$$

V5

ΔE er tilvæksten i et systems energi, når systemet tilføres varmemængden Q og arbejdet A .

Elektricitet og magnetisme

Fysisk størrelse:	SI-Enhed:
I : Strømstyrke	A ampere
U : Spændingsfald	V volt
R : Resistans	Ω ohm
ρ : Resistivitet	$\Omega \cdot m$
U_0 : Elektromotorisk kraft	V volt
U_p : Polspænding	V volt
q, Q : Elektrisk ladning	C coulomb
C : Kapacitans	F farad
E : Elektrisk feltstyrke	V/m
B : Magnetisk fluxtæthed	T tesla
E : Energi	J joule
P : Effekt	W watt
t : tid	s sekund



$$Q = I \cdot t \quad \text{E1}$$

Q er den elektriske ladning, der i løbet af tidsrummet t strømmer igennem et tværsnit af en leder, hvor strømstyrken er I .

$$P = U \cdot I \quad \text{E2}$$

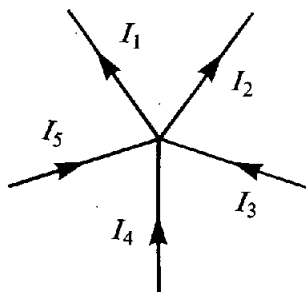
P er den effekt, hvormed der omsættes elektrisk energi i en komponent, når spændingsfaldet over komponenten er U , og strømstyrken gennem den er I .

$$E = U \cdot I \cdot t = U \cdot Q \quad \text{E3}$$

E er den elektriske energi, som omsættes i en komponent, når spændingsfaldet over den er U , og den gennemløbes af strømstyrken I i tidsrummet t , eller når den passerer af den elektriske ladning Q .

$$U = U_1 + U_2 + U_3 \quad \text{E4}$$

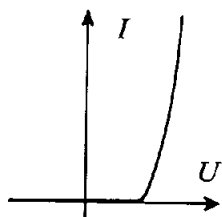
Spændingsfaldet over en seriekobling af komponenter er summen af spændingsfaldene over de enkelte komponenter.



$$I_3 + I_4 + I_5 = I_1 + I_2 \quad \text{E5}$$

For et forgreningspunkt i et kredsløb gælder, at summen af strømstyrkerne i de grene, hvor strømmen løber ind mod forgreningspunktet, er lig summen af strømstyrkerne i de grene, hvor strømmen løber bort fra forgreningspunktet.

E6



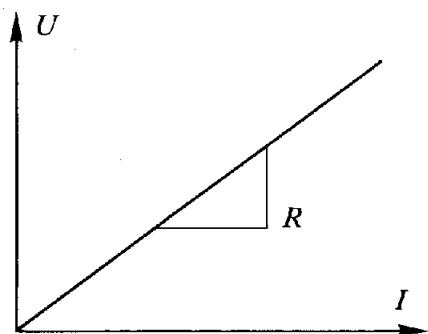
Karakteristikken for en komponent er en graf over sammenhængen mellem spændingsfaldet U over komponenten og strømstyrken I gennem den. Både (I,U) -grafer og (U,I) -grafer anvendes. Figuren viser (U,I) -karakteristikken for en diode.

$$R = \frac{U}{I} \quad \text{E7}$$

Resistansen R af en komponent er forholdet mellem spændingsfaldet U over den og strømstyrken I gennem den.

$$P = R \cdot I^2 = \frac{U^2}{R} \quad \text{E8}$$

P er den effekt, hvormed der omsættes elektrisk energi i en komponent med resistansen R , når spændingsfaldet over den er U , eller strømstyrken gennem den er I .

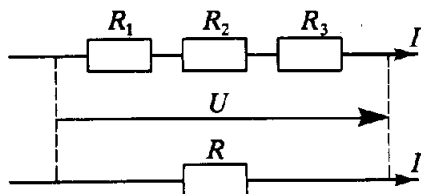


Resistorer

$$U = R \cdot I$$

E9

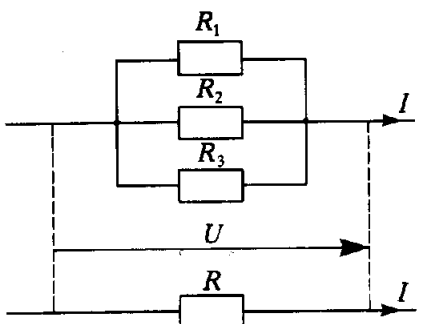
Ohms lov. Karakteristikken for en resistor er en ret linje gennem begyndelsespunktet. Hældningskoefficienten for (I,U) -grafene er resistorens resistans.



$$R = R_1 + R_2 + R_3$$

E10

Erstatningsresistansen for en seriekobling af resistorer er summen af resistanserne af de enkelte resistorer.



$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

E11

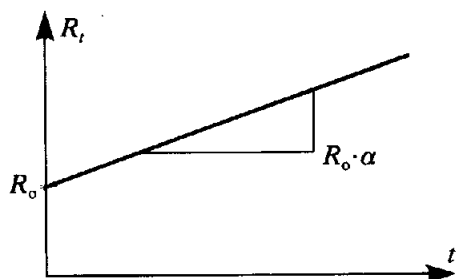
Den reciproke værdi af erstatningsresistansen for en parallelkobling af resistorer er summen af de reciproke værdier af resistanserne af de enkelte resistorer.

Resistansen af en homogen tråd

$$R = \varrho \cdot \frac{l}{A}$$

E12

R er resistansen af en homogen tråd med længden l , tværsnitsarealet A og resistiviteten ϱ .

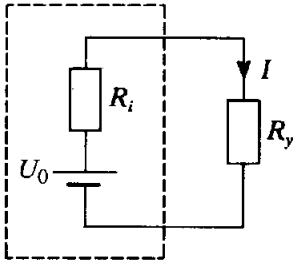


$$R = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot t)$$

E13

R er resistansen af en tråd ved celsiustemperaturen t , når trådens resistans ved temperaturen 0°C er R_0 , og α er materialets temperaturkoefficient for resistans ved 0°C .

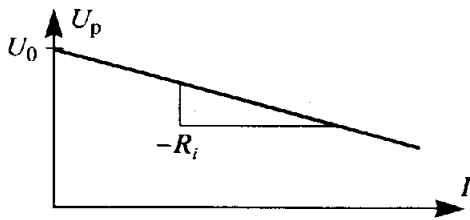
Strømforsyning



$$U_0 = (R_i + R_y) \cdot I$$

E14

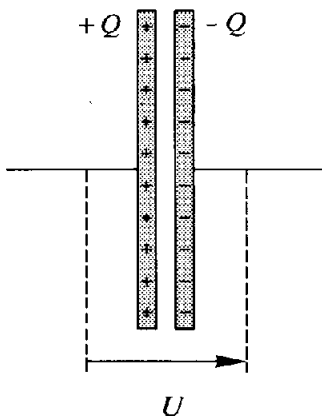
En strømforsyning eller et batteri kan opfattes som en elektromotorisk kraft. U_0 i serie med en resistor med resistansen R_i , som kaldes strømforsyningens eller batteriets indre resistans. Hvis strømforsyningen eller batteriet er tilsluttet et kredsløb, kaldes resistansen af dette kredsløb den ydre resistans og betegnes R_y . I er strømstyrken i kredsløbet.



$$U_p = U_0 - R_i \cdot I = R_y \cdot I$$

E15

Polspændingen U_p er spændingsfaldet over det ydre kredsløb, som er tilsluttet strømforsyningens eller batteriets poler. R_y er resistansen af det ydre kredsløb, og I er strømstyrken i det ydre kredsløb.

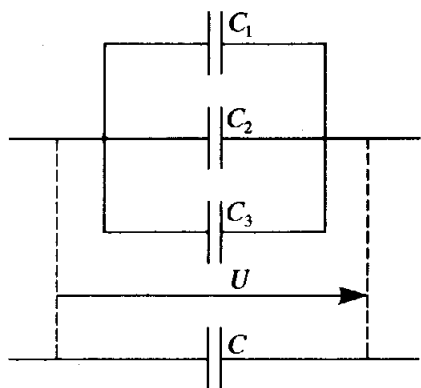


Kapacitorer

$$Q = C \cdot U$$

E16

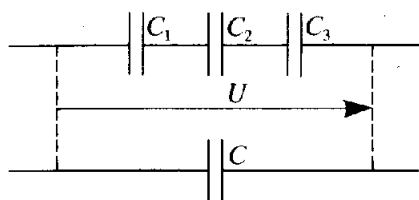
Q er størrelsen af den elektriske ladning i en kapacitor, når spændingsfaldet over kapacitoren er U , og dens kapacitans er C .



$$C = C_1 + C_2 + C_3$$

E17

Erstatningskapacitansen C for en parallelkobling af kapacitorer er summen af kapacitanterne af de enkelte kapacitorer i koblingen.



$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

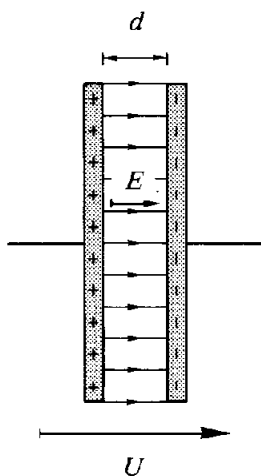
E18

Den reciproke værdi af erstatningskapacitansen C for en seriekobling af kapacitorer er summen af de reciproke værdier af kapacitanterne af de enkelte kapacitorer.

$$E = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2 = \frac{1}{2} \cdot Q \cdot U = \frac{1}{2} \cdot \frac{Q^2}{C}$$

E19

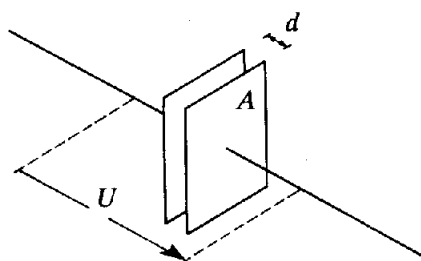
E er energien i en opladet kapacitor.



$$E = \frac{U}{d}$$

E20

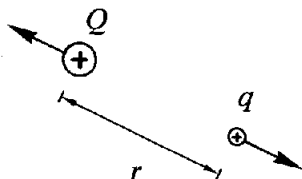
E er størrelsen af den elektriske feltstyrke i plademellemrummet af en pladekapacitor, når spændingsfaldet mellem pladerne er U , og afstanden mellem dem er d .



$$C = \epsilon_0 \cdot \frac{A}{d}$$

E21

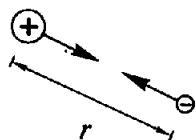
C er kapacitansen af en pladekapacitor i vakuum med pladearealet A og pladeafstanden d .



Elektrostatik

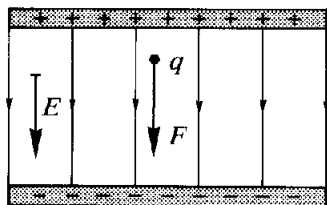
$$F = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{q \cdot Q}{r^2}$$

E22



F er størrelsen af den kraft, som to elektrisk ladede partikler påvirker hinanden med, når partiklernes har de positive ladninger Q og q , og afstanden mellem dem er r .

Elektrisk ladede partikler frastøder hinanden, hvis deres ladninger har samme fortegn, og de tiltrækker hinanden, hvis ladningerne har forskelligt fortegn.



$$F = q \cdot E$$

E23

F er størrelsen af kraften på en partikel, som har den positive elektriske ladning q , og som befinder sig i et punkt, hvor størrelsen af den elektriske feltstyrke er E .

$$U = E \cdot d$$

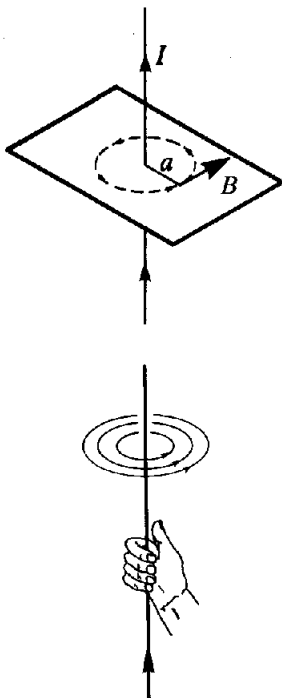
E24

U er spændingsfaldet mellem to punkter i et homogent elektrisk felt, hvor størrelsen af den elektriske feltstyrke er E , og d er afstanden i feltlinjernes retning mellem de to punkter.

$$\Delta E = q \cdot U$$

E25

ΔE er størrelsen af den elektriske energi, der omsættes, når en partikel med den positive elektriske ladning q flyttes gennem spændingsfaldet U .

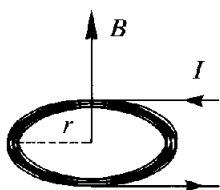


Magnetfelter

$$B = \frac{\mu_0}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{I}{a} \quad \text{E26}$$

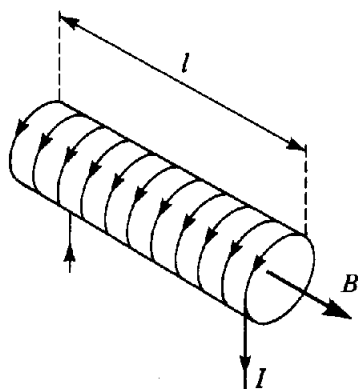
B er størrelsen af den magnetiske fluxtæthed i afstanden a fra en lang lige leder, når strømstyrken i lederen er I .

Højrehåndsregel: Grib med højre hånd om lederen med tommelfingeren i strømmens retning. De andre fingre peger da i magnetfeltets retning.



$$B = \mu_0 \cdot \frac{N \cdot I}{2 \cdot r} \quad \text{E27}$$

B er størrelsen af den magnetiske fluxtæthed i centrum af en flad cirkulær spole med N vindinger, radius r og strømstyrken I .



$$B = \mu_0 \cdot \frac{N \cdot I}{l} \quad \text{E28}$$

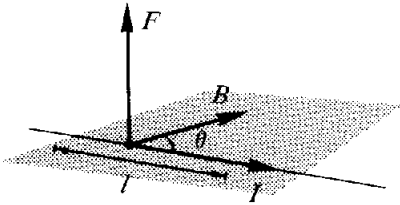
B er størrelsen af den magnetiske fluxtæthed inde i en lang spole med N vindinger og længden l , når strømstyrken i spolen er I .

$$F = B \cdot I \cdot l$$

E29

F er størrelsen af kraften på et ret lederstykke med længden l , når strømstyrken i lederen er I , og lederstykket er vinkelret på feltlinjerne i et homogent magnetfelt. Den magnetiske fluxtæthed har størrelsen B . Kraftens retning er vinkelret på både lederstykket og feltlinjerne.

Højrehåndsregel: Hold højre hånd tæt langs lederen med fingrene i strømmens retning, så magnetfeltlinjernes retning er vinkelret ind i håndfladen. Kraftens retning er da mod lillefingersiden.



$$F = B \cdot I \cdot l \cdot \sin \theta$$

E30

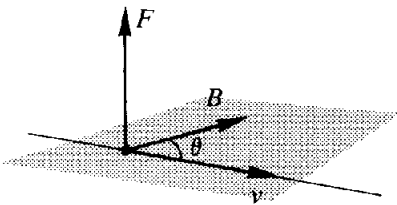
F er størrelsen af kraften på et lederstykke med længden l , når strømstyrken i lederen er I , og lederstykket danner vinklen θ med feltlinjerne i et homogent magnetfelt. Den magnetiske fluxtæthed har størrelsen B . Kraftens retning er vinkelret på både lederstykket og feltlinjerne.

$$F = q \cdot v \cdot B$$

E31

F er størrelsen af kraften på en partikel med den positive ladning q , der bevæger sig med farten v vinkelret på feltlinjerne i et magnetfelt. Størrelsen af den magnetiske fluxtæthed er B . Kraftens retning er vinkelret på både partiklens bevægelsesretning og feltlinjerne.

Højrehåndsregel: Hold højre hånd med fingrene i partiklens bevægelsesretning, så magnetfeltlinjernes retning er ind i håndfladen. Kraftens retning er da mod lillefingersiden, hvis partiklens ladning er positiv, og mod tommelfingersiden, hvis partiklens ladning er negativ.



$$F = q \cdot v \cdot B \cdot \sin \theta$$

E32

F er størrelsen af kraften på en partikel med den positive ladning q , der bevæger sig med farten v i et magnetfelt. Størrelsen af den magnetiske fluxtæthed er B . Partiklen bevæger sig i en retning, der danner vinklen θ med feltlinjerne. Kraftens retning er vinkelret på både partiklens bevægelsesretning og feltlinjerne.

Bølger

Fysisk størrelse	SI-enhed
v : Udbredelseshastighed	m/s
T : Periode	s sekund
λ : Bølgelængde	m meter
f : Frekvens	Hz hertz

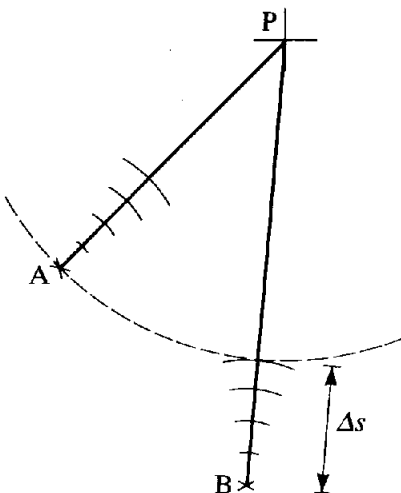
Harmonisk bølge

$$T = \frac{1}{f} \quad \text{B1}$$

T er perioden og f frekvensen for en harmonisk bølge.

$$v = \lambda \cdot f \quad \text{B2}$$

v er udbredelseshastigheden, λ bølgelængden og f frekvensen for en harmonisk bølge.



Interferens

$$\Delta s = |PB| - |PA| = m \cdot \lambda, \quad m \text{ hel} \quad \text{B3}$$

Betingelsen for konstruktiv interferens i punktet P mellem to bølger, der udsendes i fase fra punkterne A og B.

$$\Delta s = |PB| - |PA| = \frac{1}{2} \cdot \lambda + m \cdot \lambda, \quad m \text{ hel} \quad \text{B4}$$

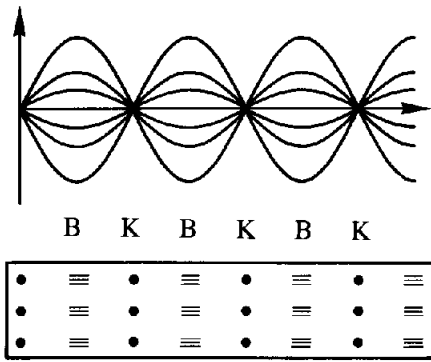
Betingelsen for destruktiv interferens i punktet P mellem to bølger, der udsendes i fase fra punkterne A og B.

Stående bølger

$$|BK| = \frac{\lambda}{4} \quad |BB| = |KK| = \frac{\lambda}{2} \quad B5$$

I en stående bølge findes punkter, hvor der hele tiden er destruktiv interferens. Disse punkter kaldes knuder. Der findes også punkter, hvor der hele tiden er konstruktiv interferens, disse punkter kaldes bug. På figuren er bug markeret med B, og knuder med K.

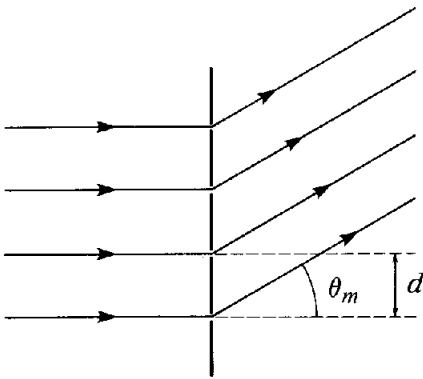
Afstanden mellem en bug og den nærmeste knude er $\frac{\lambda}{4}$, og afstanden mellem to på hinanden følgende knuder eller bug er $\frac{\lambda}{2}$.



Bøjning i gitter

$$d \cdot \sin \theta_m = m \cdot \lambda, \quad m \text{ hel} \quad B6$$

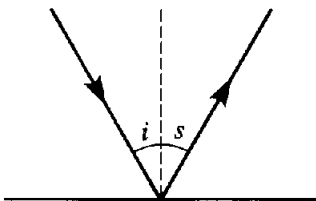
Når stråling falder vinkelret ind på gitterets plan, er der konstruktiv interferens i de retninger, som danner vinklerne θ_m med den indfaldende strålings retning.

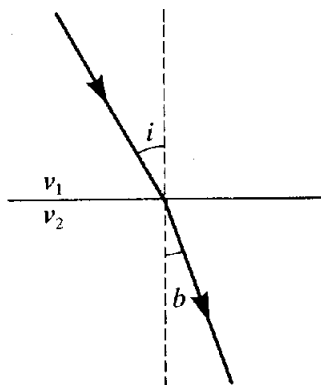


Spejling og brydning

$$i = s \quad B7$$

i er indfaldsvinklen, og s er spejlingsvinklen.





$$\frac{\sin i}{\sin b} = n_{12}$$

B8

i er indfaldsvinklen, og b er brydningsvinklen. Konstanten n_{12} er det relative brydningsforhold for overgang fra medium 1 til medium 2.

$$n_{12} = \frac{v_1}{v_2}$$

B9

n_{12} er det relative brydningsforhold for overgang mellem to medier, når udbredelseshastigheden i de to medier er v_1 og v_2 .

Atom- og kernefysik

Fysisk størrelse	SI-enhed
A : aktivitet	Bq becquerel
k : henfaldskonstant	s^{-1}
$T_{1/2}$: halveringstid	s sekund
λ : bølgelængde	m meter
f : frekvens	Hz hertz
A : nukleontal	
Z : protontal	
D : absorberet dosis	Gy gray
H : dosisækvivalent	Sv sievert
E : energi	J joule
m : masse	kg kilogram
t : tid	s sekund

Elektromagnetisk stråling

$$c = \lambda \cdot f \quad A1$$

Elektromagnetisk stråling (som fx synligt lys, røntgenstråling, gammastråling) udbreder sig i vakuum med lysets fart c .

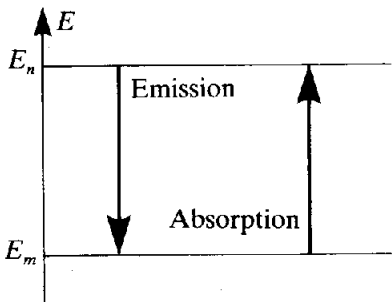
$$E = h \cdot f \quad A2$$

E er energien af en foton med frekvensen f .

Atomer, elektroner og stråling

$$E_n = - \frac{13,61 \text{ eV}}{n^2} \quad A3$$

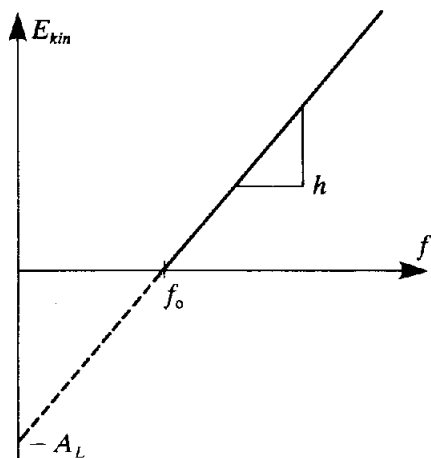
E_n er energien af et hydrogenatom i den n 'te stationære tilstand.



$$h \cdot f = E_n - E_m$$

A4

Et atom kan ændre energitilstand ved at udsende eller absorbere en foton. De to hele tal n og m nummererer atomets stationære energitilstande. Atomets laveste energitilstand kaldes grundtilstanden. Andre energitilstande kaldes exciterede tilstande.



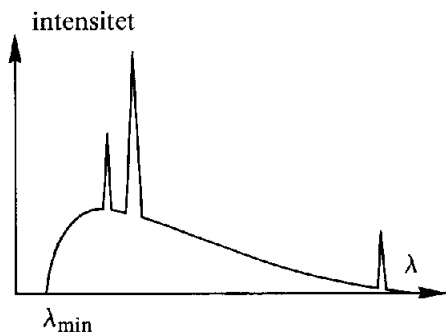
$$E_{\text{kin}} = h \cdot f - A_L$$

A5

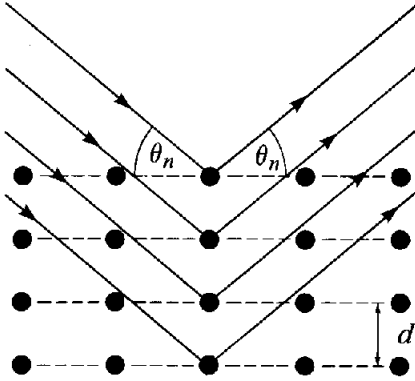
E_{kin} er den maksimale kinetiske energi af elektroner, som løsriveres af stråling med frekvensen f fra et metal, som har løsrielsesarbejdet A_L . Den mindste frekvens af stråling, der kan løsrive elektroner, kaldes grænsefrekvensen f_0 .

$$E_{\text{kin}} = h \cdot f_{\text{max}} = \frac{h \cdot c}{\lambda_{\text{min}}}$$

A6



Ved nedbremsning af elektroner i et materiale kan der udsendes røntgenstråling. f_{max} er den største frekvens og λ_{min} den mindste bølgelængde af den udsendte røntgenstråling, når elektronernes kinetiske energi er E_{kin} . Figuren er en skitse af et røntgenspektrum. Linjespektret skyldes fotoner, der udsendes ved elektronovergange i det nedbremsende materiale.



$$2 \cdot d \cdot \sin \theta_n = n \cdot \lambda, \quad n \text{ hel}$$

A7

Efter diffraktionen af røntgenstråling i en krystal har strålingsintensiteten maksima i de retninger, som danner vinklerne θ_n med gitterplanerne. d er afstanden mellem gitterplanerne.

Absorption af ioniserende stråling

$$D = \frac{E}{m}$$

A8

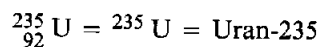
Den absorberede dosis D er den energi, som den ioniserende stråling afsætter pr. masseenhed.

$$H = Q \cdot D$$

A9

Her dosisækvivalentet ved en bestråling, når strålingens kvalitetsfaktor er Q og den absorberede dosis er D .

Kernefysik



A10

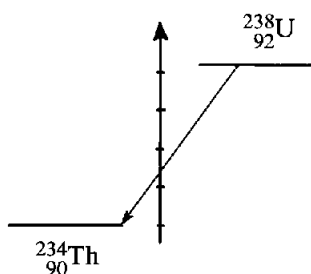
Forskellige måder, hvorpå et nuklid kan angives.

$$A = Z + N$$

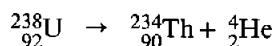
A11

Nukleontallet A er antallet af nukleoner i en kerne. Protontallet Z er antallet af protoner i kernen, og neutrontallet N er antallet af neutroner i kernen.

A kaldes undertiden massetallet, idet A ofte er meget nær talværdien af kernens masse angivet i enheden u. Z kaldes også atomnummeret.

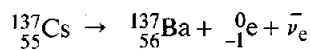
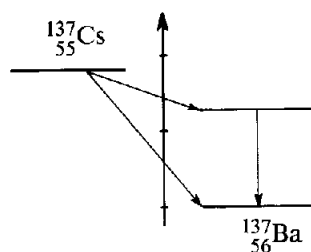


Radioaktivt henfald



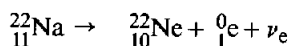
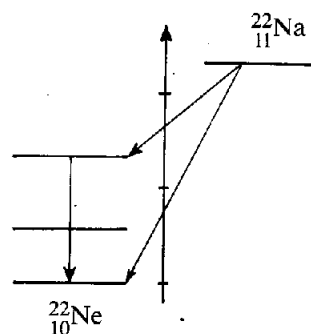
A12

Eksempel på α -henfald.



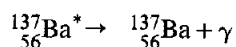
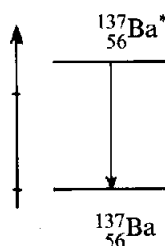
A13

Eksempel på β^- -henfald



A14

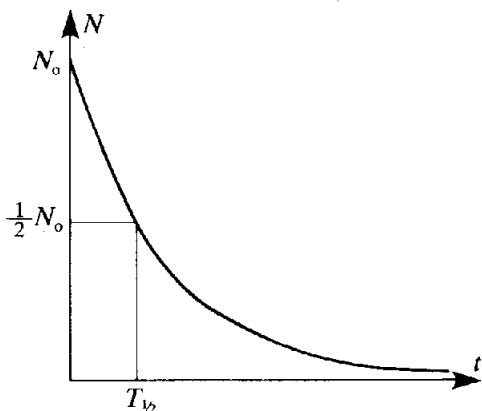
Eksempel på β^+ -henfald.



A15

Eksempel på γ -henfald.

${}_{56}^{137}\text{Ba}^*$ er en exciteret tilstand af ${}_{56}^{137}\text{Ba}$.



$$N = N_0 \cdot e^{-k \cdot t} = N_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{1/2}}} \quad \text{A16}$$

N er antallet af kerner til tiden t af et radioaktivt nuklid, og N_0 er antallet til tiden $t = 0$ s.

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{k} \quad \text{A17}$$

Sammenhængen mellem halveringstid $T_{1/2}$ og henfaldskonstant k .

$$A = -\frac{dN}{dt} = k \cdot N \quad \text{A18}$$

Sammenhængen mellem aktiviteten A og antallet af radioaktive kerner N i en stofprøve, der kun indeholder kerner af ét radioaktivt nuklid med henfaldskonstanten k .

$$A = A_0 \cdot e^{-k \cdot t} = A_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{1/2}}} \quad \text{A19}$$

A er aktiviteten til tiden t fra en stofmængde, der kun indeholder ét nuklid, og som til tiden $t = 0$ s har aktiviteten A_0 .

Kerners energiforhold

$$E = m \cdot c^2 \quad \text{A20}$$

Ækvivalensen mellem masse og energi.

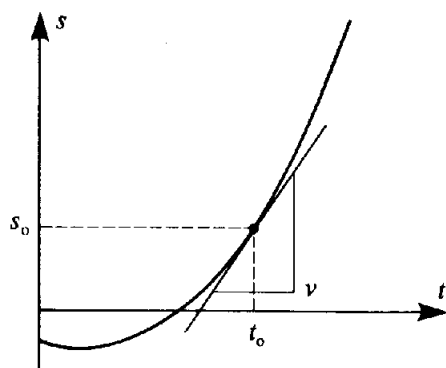
$$Q = E_{\text{kin, efter}} - E_{\text{kin, før}} = -\Delta m \cdot c^2 \quad \text{A21}$$

Q -værdien ved en kerneprocess er tilvæksten i kinetisk energi. Δm er tilvæksten i den samlede masse ved kerneprocessen.

Mekanik

Fysisk størrelse	SI-enhed
t : tid	s sekund
s, x, y : stedkoordinat	m meter
v : hastighed, fart	m/s
a : acceleration	m/s ²
m : masse	kg kilogram
ρ : densitet	kg/m ³
p : impuls, bevægelsesmængde	kg · m/s
F_{res} : resulterende kraft	N newton
A : arbejde	J joule
P : effekt	W watt
E_{kin} : kinetisk energi	J joule
E_{pot} : potentiel energi	J joule
T : omløbstid, periode	s sekund
f : frekvens	Hz hertz
ω : vinkelhastighed	s ⁻¹

Retlinjet bevægelse

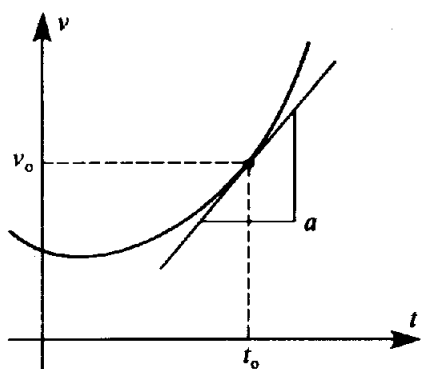


$$v = \frac{ds}{dt} \quad \text{M1}$$

Hastigheden v er stedfunktionens differentialkvotient. Hastigheden til tidspunktet t_0 er hældningskoefficienten for (t,s) -grafens tangent i punktet (t_0, s_0) .

$$v_{\text{middel}} = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad \text{M2}$$

Middelværdien v_{middel} af hastigheden i et interval omkring et punkt er en tilnærmet værdi for hastigheden i punktet.



$$a = \frac{dv}{dt}$$

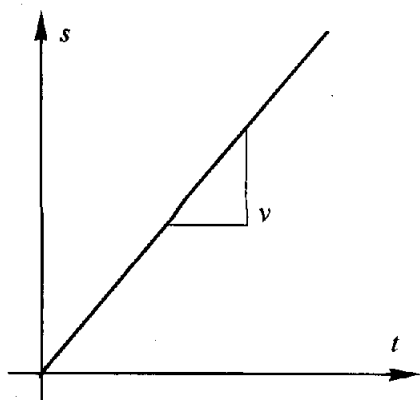
M3

Accelerationen a er hastighedsfunktionens differentialkoefficient. Accelerationen til tidspunktet t_0 er hældningskoefficienten for (t,v) -grafens tangent i punktet (t_0, v_0) .

$$a_{\text{middel}} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

M4

Middelværdien a_{middel} af accelerationen i et interval omkring et punkt er en tilnærmet værdi for accelerationen i punktet.

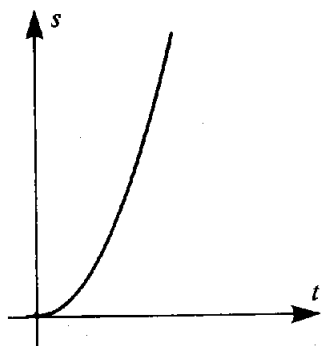


Retlinjet bevægelse med konstant hastighed

$$s = v \cdot t$$

M5

Stedfunktionen for en bevægelse med konstant hastighed v og begyndelsessted 0 m.

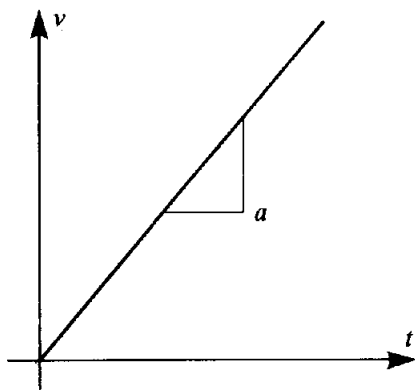


Retlinjet bevægelse med konstant acceleration

$$s = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$$

M6

Stedfunktionen for en bevægelse med konstant acceleration a , begyndeshastighed 0 m/s og begyndelsessted 0 m.



$$v = a \cdot t$$

M7

Hastighedsfunktionen for en bevægelse med konstant acceleration a og begyndelseshastighed 0 m/s .

$$v^2 = 2 \cdot a \cdot s$$

M8

Sammenhængen mellem hastighed v og sted s for en bevægelse med konstant acceleration a , begyndelseshastighed 0 m/s og begyndelsessted 0 m .

$$s = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 + v_0 \cdot t + s_0$$

M9

Stedfunktionen for en bevægelse med konstant acceleration a , begyndelseshastighed v_0 og begyndelsested s_0 .

$$v = a \cdot t + v_0$$

M10

Hastighedsfunktionen for en bevægelse med konstant acceleration a og begyndelseshastighed v_0 .

$$v^2 - v_0^2 = 2 \cdot a \cdot (s - s_0)$$

M11

Sammenhængen mellem hastighed og sted for en bevægelse med konstant acceleration a , begyndelseshastighed v_0 og begyndelsessted s_0 .

Bevægelse i homogent kraftfelt

$$\begin{aligned}x &= v_0 \cdot \cos\alpha \cdot t \\ y &= -\frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 + v_0 \cdot \sin\alpha \cdot t\end{aligned}\quad \text{M12}$$

Stedkoordinaterne for en plan bevægelse med konstant acceleration. Accelerationen har størrelsen a og er rettet i y -aksens negative retning. Begyndelseshastigheden er i x -aksens retning $v_0 \cdot \cos\alpha$ og i y -aksens retning $v_0 \cdot \sin\alpha$. Begyndelsesstedet er $(0 \text{ m}, 0 \text{ m})$.

$$\begin{aligned}v_x &= v_0 \cdot \cos\alpha \\ v_y &= -a \cdot t + v_0 \cdot \sin\alpha\end{aligned}\quad \text{M13}$$

Hastighederne i henholdsvis x -aksens retning og y -aksens retning for en plan bevægelse med konstant acceleration. Accelerationen har størrelsen a og er rettet i y -aksens negative retning. Begyndelseshastigheden er i x -aksens retning $v_0 \cdot \cos\alpha$, og i y -aksens retning $v_0 \cdot \sin\alpha$.

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}\quad \text{M14}$$

Farten i en plan bevægelse, når hastigheden i x -aksens retning er v_x , og i y -aksens retning v_y .

Periodisk bevægelse

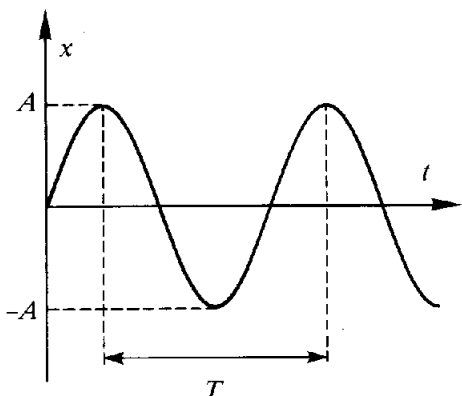
$$f = \frac{1}{T}\quad \text{M15}$$

Sammenhængen mellem frekvensen f og perioden T for en periodisk bevægelse.

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi}{T}\quad \text{M16}$$

Sammenhængen mellem vinkelhastigheden ω og perioden T for en periodisk bevægelse.

Harmonisk bevægelse



$$x = A \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

M17

Stedfunktionen for en harmonisk bevægelse. Det største udsving A kaldes amplituden. Bevægelsen kan også beskrives ved en cosinusfunktion.

$$v = \omega \cdot A \cdot \cos(\omega \cdot t)$$

M18

Hastighedsfunktionen for en harmonisk bevægelse med stedfunktionen $x = A \cdot \sin(\omega \cdot t)$.

$$a = -\omega^2 \cdot A \cdot \sin(\omega \cdot t) = -\omega^2 \cdot x$$

M19

Accelerationsfunktionen for en harmonisk bevægelse med stedfunktionen $x = A \cdot \sin(\omega \cdot t)$.

Cirkelbevægelse med konstant fart

$$v = \frac{2 \cdot \pi \cdot r}{T} = \omega \cdot r = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot r$$

M20

Størrelsen af farten i en cirkelbevægelse med radius r , omløbstid T , konstant vinkelhastighed ω og frekvens f .

$$a = \frac{v^2}{r} = \omega^2 \cdot r = \frac{4 \cdot \pi^2}{T^2} \cdot r = 4 \cdot \pi^2 \cdot f^2 \cdot r$$

M21

Størrelsen af accelerationen i en cirkelbevægelse med radius r , konstant fart v , vinkelhastighed ω , omløbstid T og frekvens f .

Kraft og arbejde

$$p = m \cdot v$$

M22

Impulsen af en partikel med masse m og hastighed v .

$$F_{\text{res}} = \frac{dp}{dt}$$

M23

Newtons anden lov.

$$F_{\text{res}} = \frac{\Delta p}{\Delta t}$$

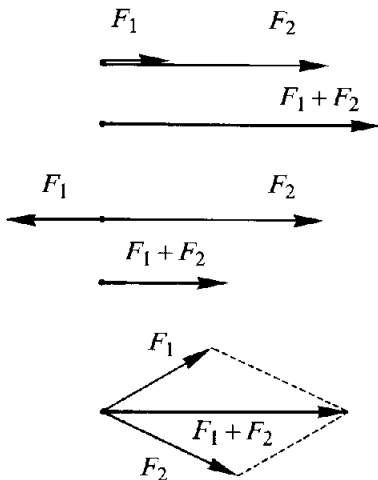
M24

Den resulterende kraft er med tilnærmelse middelværdien af impulsændringen pr. tidsenhed.

$$F_{\text{res}} = m \cdot a$$

M25

F_{res} er den resulterende kraft på en partikel med masse m og acceleration a .



$$F_{\text{res}} = F_1 + F_2$$

M26

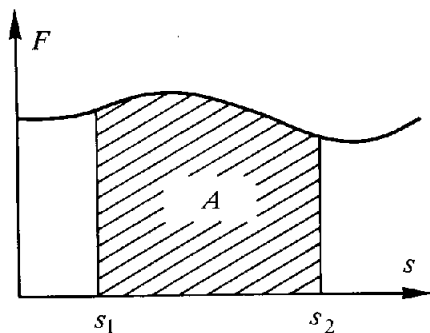
Hvis to enkeltkræfter på en partikel har samme retning, er størrelsen af den resulterende kraft summen af de to enkeltkræfters størrelse.

Hvis kræfterne er modsat rettede, er størrelsen af den resulterende kraft differensen mellem de to enkeltkræfters størrelse.

Hvis kræfterne ikke er parallelle, bestemmes størrelse og retning af den resulterende kraft ved hjælp af kræfternes parallelogram.

$$\Delta p = F_{\text{res}} \cdot \Delta t \quad \text{M27}$$

Δp er tilvæksten i partiklens impuls, når partiklen påvirkes af en konstant resulterende kraft F_{res} i tidsrummet Δt .



$$A = F \cdot \Delta s \quad \text{M28}$$

A er det arbejde, som en konstant kraft F udfører på en partikel, der forskydes strækningen Δs i kraftens retning. Det arbejde, som en varierende kraft F udfører på en partikel under forskydning fra s_1 til s_2 , kan beregnes som arealet under (s, F) -grafene fra $s = s_1$ til $s = s_2$.

$$A = F \cdot \Delta s \cdot \cos \alpha \quad \text{M29}$$

A er det arbejde, som en konstant kraft F udfører på en partikel, der forskydes Δs i en retning, der danner vinklen α med kraftens retning.

Arbejde og energi

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad \text{M30}$$

Den kinetiske energi af en partikel med massen m og hastigheden v .

$$A_{\text{res}} = \Delta E_{\text{kin}} \quad \text{M31}$$

Den resulterende krafts arbejde er lig tilvæksten af partiklens kinetiske energi.

$$A_{\text{felt}} = -\Delta E_{\text{pot}} \quad \text{M32}$$

Når en partikel forskydes i et konservativt kraftfelt, er det arbejde, feltkraften udfører på partiklen, lig minus tilvæksten af partiklens potentielle energi.

$$E_{\text{mek}} = E_{\text{kin}} + E_{\text{pot}} \quad \text{M33}$$

Den mekaniske energi er summen af den kinetiske energi og den potentielle energi.
I et isoleret mekanisk system uden gnidning er den mekaniske energi bevaret.

$$A_{\text{ydre}} = \Delta E \quad \text{M34}$$

De ydre kræfters arbejde på et system er lig tilvæksten af systemets energi.

Effekt

$$P = \frac{dA}{dt} \quad \text{M35}$$

P er den effekt, hvormed arbejdet A udføres.
Effekten kan med tilnærmelse beregnes som $P = \Delta A / \Delta t$.

$$P = F \cdot v \quad \text{M36}$$

P er den effekt, hvormed kraften F udfører arbejde på en partikel, når partiklen har hastigheden v i kraftens retning.

$$P = F \cdot v \cdot \cos\alpha$$

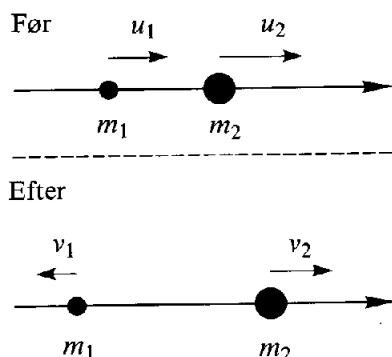
M37

P er den effekt, hvormed kraften F udfører arbejde på en partikel, når kraften danner vinklen α med partiklens hastighed.

$$P = \frac{dE}{dt}$$

M38

P er den effekt, hvormed energien E omsættes. Effekten kan med tilnærmelse beregnes som $P = \Delta E / \Delta t$.



Stød

$$m_1 \cdot u_1 + m_2 \cdot u_2 = m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2$$

M39

Impulsbevarelssætningen for et centralt stød. Et stød er centralt, når partiklerne bevæger sig langs samme rette linje før og efter stødet.

$$m_1 \cdot u_1 + m_2 \cdot u_2 = (m_1 + m_2) \cdot v$$

M40

Impulsbevarelssætningen for et centralt, fuldstændigt uelastisk stød. Et stød er fuldstændigt uelastisk, når partiklerne følges ad efter stødet.

$$Q = \Delta E_{\text{kin}}$$

M41

Q -værdien for en proces er tilvæksten af den kinetiske energi under processen. Et sammenstød kaldes elastisk, når Q -værdien for stødprocessen er 0 J.

Tyngdekraft

$$F = m \cdot g$$

M42

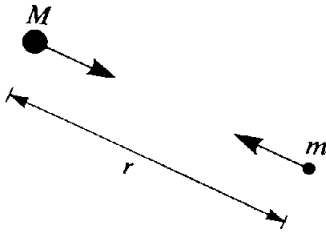
F er størrelsen af tyngdekraften på et legeme med massen m et sted, hvor tyngdeaccelerationen er g .

$$E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h$$

M43

E_{pot} er den potentielle energi af en partikel med massen m i højden h over nulpunktet i et homogent tyngdefelt.

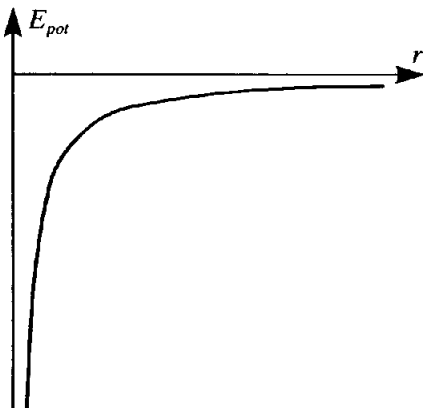
Gravitation



$$F = G \cdot \frac{m \cdot M}{r^2}$$

M44

F er størrelsen af gravitationskraften mellem to partikler med masserne m og M i afstanden r fra hinanden.

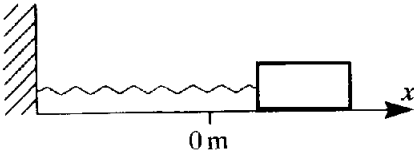


$$E_{\text{pot}} = -G \cdot \frac{m \cdot M}{r}$$

M45

E_{pot} er den potentielle energi af to partikler med masserne m og M i afstanden r fra hinanden, som påvirker hinanden med gravitationskraften.

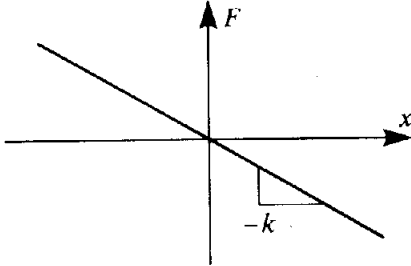
Elastisk kraft



$$F = -k \cdot x$$

M46

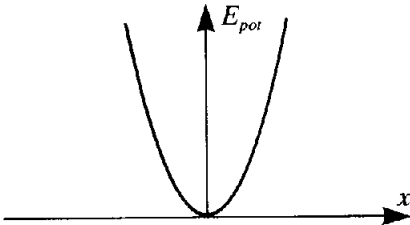
En kraft er elastisk, hvis den er rettet mod et bestemt punkt, ligevægtsstillingen, og dens størrelse er proportional med afstanden x fra ligevægtsstillingen. Konstanten k kaldes fjederkonstanten eller stivheden.



$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{k}}$$

M47

T er svingningstiden for en partikel med massen m , der er påvirket af en elastisk kraft med fjederkonstanten k .

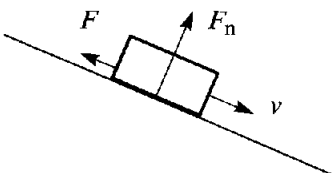


$$E_{\text{pot}} = \frac{1}{2} \cdot k \cdot x^2$$

M48

E_{pot} er den potentielle energi af et elastisk system med fjederkonstanten k , idet nulpunktet for den potentielle energi er i ligevægtsstillingen.

Gnidning



$$F = \mu \cdot F_n$$

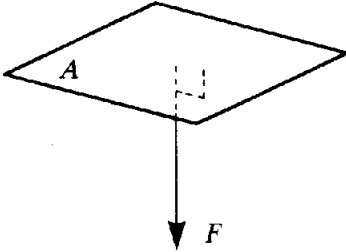
M49

Størrelsen af gnidningskraften mellem faste, tørre flader, der bevæger sig i forhold til hinanden. F_n er størrelsen af normalkraften, og μ er gnidningskoefficienten.

Tryk og densitet

$$\varrho = \frac{m}{V} \quad \text{M50}$$

Densiteten ϱ af et stof er massen pr. rumfangsenhed.



$$p = \frac{F}{A} \quad \text{M51}$$

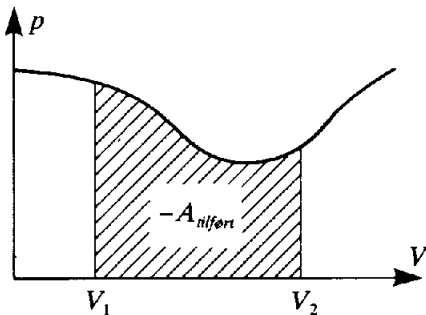
Trykket p er kraften pr. arealenhed.

$$\Delta p = h \cdot \varrho \cdot g \quad \text{M52}$$

Δp er trykbidraget fra en væske eller en gas med densiteten ϱ stykket h under overfladen.

$$F = V \cdot \varrho \cdot g \quad \text{M53}$$

F er størrelsen af opdriften på et legeme, der fortrænger rumfanget V af en væske eller en gas med densiteten ϱ .



$$A_{\text{tilført}} = -p \cdot \Delta V \quad \text{M54}$$

$A_{\text{tilført}}$ er det arbejde, der tilføres et system ved en proces, hvorunder systemets volumen vokser med ΔV , mens trykket p er konstant.

Arbejdstilførslen ved volumenændring fra V_1 til V_2 , når trykket varierer, kan beregnes af arealet under (V,p) -grafen fra $V = V_1$ til $V = V_2$.

Ideale gasser

$$\frac{p \cdot V}{T} = \frac{p_0 \cdot V_0}{T_0} \quad \text{M55}$$

Sammenhængen mellem trykket p , rumfanget V og kelvin-temperaturen T af en afspærret mængde af en idealgas.

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \quad \text{M56}$$

Tilstandsligningen for en afspærret mængde af en idealgas. $n = m/M$ er stofmængden angivet i mol, M er gassens molare masse, og R er gaskonstanten.

$$p \cdot V = N \cdot k \cdot T \quad \text{M57}$$

Tilstandsligningen for en afspærret mængde af en idealgas, der indeholder N molekyler. k er Boltzmanns konstant.

$$E_{\text{kin}} = \frac{3}{2} \cdot k \cdot T \quad \text{M58}$$

E_{kin} er middelværdien af et atoms kinetiske energi i en énatomig idealgas med kelvintemperaturen T .

Enheder i SI-systemet

længde	meter	m	grundenhed
masse	kilogram	kg	grundenhed
tid	sekund	s	grundenhed
strømstyrke	ampere	A	grundenhed
stofmængde	mol	mol	grundenhed
temperatur	kelvin	K	grundenhed
frekvens	hertz	Hz	$1 \text{ Hz} = 1 \text{ s}^{-1}$
kraft	newton	N	$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2$
tryk	pascal	Pa	$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$
arbejde, energi, varmemængde	joule	J	$1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}$
effekt	watt	W	$1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$
elektrisk ladning	coulomb	C	$1 \text{ C} = 1 \text{ A} \cdot \text{s}$
elektrisk spænding, spændingsfald, elek- tromotorisk kraft	volt	V	$1 \text{ V} = 1 \text{ J/C}$
magnetisk fluxtæthed	tesla	T	$1 \text{ T} = 1 \text{ N}/(\text{A} \cdot \text{m})$
kapacitans	farad	F	$1 \text{ F} = 1 \text{ C/V}$
resistans	ohm	Ω	$1 \Omega = 1 \text{ V/A}$
aktivitet	becquerel	Bq	$1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1}$
absorberet dosis	grey	Gy	$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$
dosisækvivalent	sievert	Sv	$1 \text{ Sv} = 1 \text{ J/kg}$

Dekadiske præfixer

E	P	T	G	M	k	h	da
exa	Peta	tera	giga	mega	kilo	hekto	deka
10^{18}	10^{15}	10^{12}	10^9	10^6	10^3	10^2	10^1

d	c	m	μ	n	p	f	a
deci	centi	milli	mikro	nano	pico	femto	atto
10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}	10^{-12}	10^{-15}	10^{-18}

Andre enheder

liter	L	1 L	$= 10^{-3} \text{ m}^3$
år	år	1 år	$= 3,156 \cdot 10^7 \text{ s}$
atommasseenhed	u	1 u	$= 1,660 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
ton	t	1 t	$= 10^3 \text{ kg}$
bar	bar	1 bar	$= 10^5 \text{ Pa}$
atmosfære	atm	1 atm	$= 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$
kilowatt-time	kWh	1 kWh	$= 3,600 \cdot 10^6 \text{ J}$
elektronvolt	eV	1 eV	$= 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$
energiækvivalentet til 1 u			$1,492 \cdot 10^{-10} \text{ J} = 931,5 \text{ MeV}$

Nogle tabelværdier

Vand:

densitet ved 20°C	1,00 g/cm ³
specifik varmekapacitet ved 20°C	4,18 kJ/(kg · K)
fordampningsvarme ved 100°C	$2,26 \cdot 10^3 \text{ kJ/kg}$
isens smeltevarme ved 0°C	334 kJ/kg
molar masse	18,0 g/mol

Jorden og Solen:

tyngdeaccelerationen i Danmark	9,82 m/s ²
Jordens masse	$5,97 \cdot 10^{24} \text{ kg}$
Jordens middeleradius	$6,37 \cdot 10^6 \text{ m}$
afstanden mellem Jorden og Solen	$1,50 \cdot 10^{11} \text{ m}$
Solens masse	$1,99 \cdot 10^{30} \text{ kg}$

Fysiske konstanter

lysets fart i vakuum	c	$3,00 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
Plancks konstant	h	$6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$
elementarladningen	e	$1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
Avogadros konstant	N_A	$6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
gaskonstanten	R	$8,31 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} = 0,0821 \frac{\text{L} \cdot \text{atm}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$
Boltzmanns konstant	k	$1,381 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$
vakuumpermeabiliteten	μ_0	$1,257 \cdot 10^{-6} (\text{V} \cdot \text{s})/(\text{A} \cdot \text{m})$
vakuumpermittiviteten	ϵ_0	$8,85 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$
elektronens masse	m_e	$9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg} = 5,49 \cdot 10^{-4} \text{ u}$
protonens masse	m_p	1,007276 u
neutronens masse	m_n	1,008665 u
gravitationskonstanten	G	$6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$

Enheder



ISBN 87-87229-50-1