

# FORMELBLAD VÅGLÄRA OCH OPTIK

## Harmonisk svängning, allmänt

$$\frac{d^2y}{dt^2} + \omega^2 y = 0$$

## Vinkelfrekvens, allmänt

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

## Vinkelfrekvens, elastisk pendel

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

## Energi, elastisk pendel

$$W_{\text{pot}} = \frac{ky^2}{2} \quad W_{\text{tot}} = \frac{m}{2} A^2 \omega^2$$

## Dämpad svängning

$$A(t) = A_0 \cdot e^{-\gamma t/2}$$

## Plan fortskridande våg

$$s = s_0 \sin \left[ 2\pi \left( \frac{t}{T} \pm \frac{x}{\lambda} \right) + \alpha \right]$$

## Utbredningshastighet

$$v = f \cdot \lambda$$

## Stående vågens ekvation

$$s = A \cos \left( 2\pi \frac{x}{\lambda} + \frac{\phi}{2} \right) \sin \left( 2\pi \frac{t}{T} + \frac{\phi}{2} \right)$$

## Allmänna vågekvationen

$$\frac{\partial^2 s}{\partial t^2} = v^2 \frac{\partial^2 s}{\partial x^2}$$

## Dopplereffekt

$$f_m = f_s \frac{v - v_m}{v - v_s} \quad S \rightarrow v_s \quad M \rightarrow v_m$$

## Överljudshastighet

$$\sin \theta = \frac{v_{\text{ljud}}}{v_{\text{plan}}} = \frac{1}{Ma}$$

## Kompressibilitetskoefficient

$$\kappa = -\frac{1}{\Delta P} \frac{\Delta V}{V}$$

## Ljudtryck

$$p = \mp p_0 \cos \left[ 2\pi \left( \frac{t}{T} \pm \frac{x}{\lambda} \right) \right]$$

## Tryckamplitud

$$p_0 = \frac{2\pi s_0}{\kappa \lambda} = Z s_0 \omega$$

## Akustisk impedans

$$Z = \rho \cdot v$$

## Ljudhastighet (vätska & gas)

$$v = \frac{1}{\sqrt{\kappa \rho}} \quad v = \sqrt{\frac{\gamma R T}{M}}$$

## Ljudhastighet i en sträng

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} \quad \mu: \text{massa per längdenhet}$$

## Ljudintensitet

$$I = \frac{Z}{2} s_0^2 \omega^2 \quad I = \frac{p_0^2}{2Z}$$

## Ljudintensitetsnivå

$$L_I = 10 \lg \frac{I}{I_0} \quad \text{med } I_0 = 1,0 \cdot 10^{-12} \text{ W/m}^2$$

## Reflektans och transmittans för ljud

$$R = \frac{I_r}{I_i} = \left( \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \right)^2 \quad T = \frac{I_t}{I_i} = 1 - R$$

## Intensitet för en elektromagnetisk våg

$$I = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\epsilon_0 \epsilon_r}{\mu_0 \mu_r}} E_o^2$$

## E- och B-fält i en elektromagnetisk våg

$$B_z = \frac{E_y}{v}$$

## Ljusets fart

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \quad v = \frac{c}{\sqrt{\mu_r \epsilon_r}}$$

**Brytningsindex**

$$n = \frac{c}{v} = \sqrt{\mu_r \epsilon_r}$$

**Brytningslagen (plan yta)**

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

**Brytning i en sfärisk yta**

$$\frac{n_1}{a} + \frac{n_2}{b} = \frac{n_2 - n_1}{R}$$

**Gauss formel (lins & spegel)**

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

**Lateralförstoring (lins & spegel)**

$$M = \frac{y_b}{y_a} = -\frac{b}{a}$$

**Brännvidd buktig spegel**

$$f = -\frac{R}{2}$$

**Brytningsstyrka (lins i luft)**

$$B = \frac{1}{f} = (n - 1) \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

**Kamerans bländartal**

$$b_t = \frac{f}{D}$$

**Luppens vinkelförstoring**

$$G = \frac{d_o}{f} \text{ där } d_o = 25 \text{ cm}$$

**Mikroskopets vinkelförstoring**

$$G = |M_{\text{ob}}| \cdot G_{\text{ok}} = \frac{L}{f_{\text{ob}}} \cdot \frac{d_o}{f_{\text{ok}}}$$

**Keplerkikarens vinkelförstoring**

$$G = \frac{f_{\text{ob}}}{f_{\text{ok}}}$$

**Intensiteten vid böjning**

$$I = I_o \left( \frac{\sin \beta}{\beta} \right)^2 \text{ med } \beta = \frac{\pi}{\lambda} b \sin \theta$$

**Böjningsminima, spalt**

$$b \sin \theta = m\lambda \text{ där } m = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$$

**Böjningsminima, rund öppning**

$$D \sin \theta = k\lambda$$

$$\text{där } k = 1, 2, 2; 2, 2, 3; 3, 2, 4; 4, 2, 5; 5, 2, 5 \dots$$

**Rayleighs upplösningskriterium**

$$D \sin \theta_k = 1, 2, 2 \cdot \lambda \text{ (cirkulär öppning)}$$

**Interferensens huvudmax ges av**  
 $d \sin \theta = m\lambda$  där  $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ **Interferens (böjning försummas)**

$$I = I_o \left( \frac{\sin N\gamma}{\sin \gamma} \right)^2 \text{ där } \gamma = \frac{\pi}{\lambda} d \sin \theta$$

**Reflektionsgitter**

$$d(\sin \alpha_2 - \sin \alpha_1) = m\lambda$$

**Transmissionsgitter**

$$d(\sin \alpha_2 + \sin \alpha_1) = m\lambda$$

**Max eller min hos tunna skikt**

$$2n_2 d \cos \alpha_2 = m\lambda \text{ där } m = 0, 1, 2, \dots$$

**Lorenz–Lorentz' lag**

$$\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} = k\rho \text{ och } n - 1 \sim \frac{p}{T}$$

**Malus lag**

$$I = I_o \cos^2 \theta$$

**Reflektans vid normalt infall**

$$R = \frac{I_r}{I_i} = \left( \frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1} \right)^2$$

**Brewstervinkel (i luft)**

$$\theta_{\text{luft}} = \arctan n$$

**Klot (area och volym)**

$$A = 4\pi r^2 \quad V = \frac{4\pi r^3}{3}$$

**Rayleighspridning**

$$I_{\text{spridd}} : \frac{1}{\lambda^4}$$

# FORMELBLAD ATOMFYSIK

## Längdkontraktion

$$L = L_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \text{ där } L_0 \text{ är verklig längd}$$

## Tidsdilatation

$$t' = t \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \text{ (} t \text{ i vilosystemet)}$$

## Addition av hastigheter ( $v$ , $u$ och $u'$ räknas alla positiva åt höger)

$$u = \frac{u' + v}{1 + \frac{u'v}{c^2}} \Leftrightarrow u' = \frac{u - v}{1 - \frac{uv}{c^2}}$$

## Massa

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \text{ där } m_0 \text{ är vilomassan}$$

## Kinetisk energi

$$W_{\text{kin}} = mc^2 - m_0 c^2$$

## Total energi och rörelsemängd

$$W_{\text{tot}}^2 = W_{\text{vilo}}^2 + p^2 c^2$$

## Dopplereffekt

$$\lambda_{\text{obs}} = \sqrt{\frac{c \pm v}{c \mp v}} \lambda_{\text{utsänd}}$$

## Avlänkning i $E$ -fält (kondensator)

$$\tan \theta = \frac{v_y}{v_x} = \frac{e}{m} \frac{El}{v_x^2} \text{ med } E = \frac{U_{\text{kond}}}{d}$$

## Kraft i $B$ -fält ( $v$ vinkelrät mot $B$ )

$$F = \frac{mv^2}{r} = qvB$$

## deBroglievåglängd

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

## Braggs lag ( $\theta$ är glansvinkeln)

$$2d \sin \theta = m\lambda \quad m = 1, 2, 3, \dots$$

## Bainbridges masspektrometer

$$v = \frac{E}{B_1} \text{ (hastighetsfilter)}$$

$$m = \frac{qB_1 B_2}{E} r$$

## Kärnradie

$$r = r_0 A^{1/3} \text{ där } r_0 \approx 1,3 \cdot 10^{-15} \text{ m}$$

## Plancks strålningslag

$$\rho(f)df = \frac{8\pi h f^3}{c^3} \cdot \frac{1}{e^{hf/kT} - 1} df$$

## Stefan–Boltzmanns lag

$$P = A\sigma T^4$$

## Fotonenergi

$$W_{\text{foton}} = hf = \frac{hc}{\lambda}$$

## Wiens förskjutningslag

$$\lambda_{\text{max}} T = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{ K} \cdot \text{m}$$

## Fotoelektriska effekten

$$hf = W_{\text{ut}} + W_{\text{kin}} = W_{\text{ut}} + eU_0$$

## Heisenbergs obestämbarhetsrelationer

$$\Delta p_x \cdot \Delta x \geq \frac{h}{4\pi} \text{ och } \Delta E \cdot \Delta t \geq \frac{h}{4\pi}$$

## Reducerad massa

$$\mu = \frac{mM}{m + M}$$

## Banradie (väteatom, vätelik jon)

$$r = \frac{\epsilon_0 h^2}{\pi \mu e^2} \frac{n^2}{Z}$$

## Energi (väteatom, vätelik jon)

$$E_n = -\frac{e^4 \mu}{8\epsilon_0^2 h^2} \frac{Z^2}{n^2}$$

$$E_n(\text{väte}) = \frac{-13,60 \text{ eV}}{n^2}$$

## Rydbergs formel för väte och vätelika joner

$$\frac{1}{\lambda} = RZ^2 \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

## Rydbergskonstanten

$$R = \frac{e^4}{8\varepsilon_0^2 h^3 c} \mu$$

$$R_\infty = \frac{e^4 m}{8\varepsilon_0^2 h^3 c} \quad R_M = R_\infty \frac{1}{1 + \frac{m}{M}}$$

## Schrödingerekvationen

$$\frac{-\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2 \psi(x)}{\partial x^2} + W_{\text{pot}} \psi(x) = E \psi(x)$$

## Partikel i en dimension ( $W_{\text{pot}} = 0$ )

$$E_n = \frac{\hbar^2}{8mL^2} n^2 \text{ med } n = 1, 2, \dots$$

## Karakteristisk röntgenstrålning

$$\frac{1}{\lambda_{K_\alpha}} = \frac{3}{4} R_\infty (Z-1)^2$$

$$\frac{1}{\lambda_{L_\alpha}} = \frac{5}{36} R_\infty (Z-7,4)^2$$

# Några grundläggande begrepp inom mekanik

## Momentanhastighet

$$v = \frac{ds}{dt}$$

## Momentanacceleration

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2 s}{dt^2}$$

## Rörelsemängd

$$\bar{p} = m \cdot \bar{v}$$

## Kraft

$$\bar{F} = \frac{d\bar{p}}{dt} = m \cdot \frac{d\bar{v}}{dt} = m \cdot \bar{a}, \text{ } m \text{ konst.}$$

## Bromsstrålning

$$\lambda_{\text{min}} = \frac{hc}{eU}$$

## Absorption av röntgenstrålning

$$I = I_0 e^{-\mu x} \text{ med } \mu = \frac{\ln 2}{d_{1/2}}$$

## Boltzmannfördelning

$$\frac{N_2}{N_1} = e^{-\Delta E / kT}$$

## Strålningsjämvikt (övergång/s)

$$A_{21}N_2 + \rho(f_0)B_{21}N_2 = \rho(f_0)B_{12}N_1$$

## Einsteinkoefficienterna

$$B_{21} = B_{12} \quad \frac{A_{21}}{B_{12}} = \frac{8\pi h f_0^3}{c^3}$$

## Aktivitet

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N$$

## Sönderfallslagen

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad A = A_0 e^{-\lambda t}$$

## Sönderfallskonstant och halveringstid

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$$

## Arbete

$$W = \int_{S_1}^{S_2} \bar{F} \cdot d\bar{s}$$

## Potentiell energi

$$W_{\text{pot}} = - \int_A^B \bar{F} \cdot d\bar{s} = W_{\text{pot}}(B) - W_{\text{pot}}(A)$$

## Rörelseenergi

$$W_{\text{kin}} = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

# TABELLER

**Tabell 1** Ljudhastighet vid normalt lufttryck (1 atm) och 20 °C.

Material	m/s	Material	m/s
Järn	5950	Metanol CH <sub>3</sub> O	1143
Glas (typvärde)	5600	Eter C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O	1032
Koppar	4760	Väte H <sub>2</sub>	1286
Bly	2160	Helium He	1008
Gummi	1550	Luft	343
Vatten	1461	Syre O <sub>2</sub>	326
Kvicksilver	1407	Koldioxid CO <sub>2</sub>	269

**Tabell 2** Akustisk impedans vid 20 °C och normalt lufttryck (1 atm).

Ämne	Z / (Ns/m <sup>3</sup> )	Ämne	Z / (Ns/m <sup>3</sup> )
Vätgas	111	Glas (typvärde)	14·10 <sup>6</sup>
Luft	412	Aluminium	17,3·10 <sup>6</sup>
Vatten	1,46·10 <sup>6</sup>	Kvicksilver	19,1·10 <sup>6</sup>
Gummi	1,47·10 <sup>6</sup>	Koppar	33,9·10 <sup>6</sup>
Glycerin	2,42·10 <sup>6</sup>	Stål	46,4·10 <sup>6</sup>
Kvarts	13,1·10 <sup>6</sup>	Volfram	101·10 <sup>6</sup>

**Tabell 3** Brytningsindex uppmätt med  $\lambda = 589$  nm vid 20 °C såvida inget annat anges.

Vatten	1,333	Kronglas (FK5)	1,487
Dietyleter	1,353	Kronglas (BK7)	1,517
Etanol	1,361	Kanadabalsam	1,542
Glycerin	1,455	Flintglas (F2)	1,620
Bensen	1,501	Flintglas (SF10)	1,728
Kolsavla	1,628	Flintglas (SFS1)	1,922
Is (0 °C)	1,31	Kvarts	1,458
NaCl	1,544	Plexiglas	1,40-1,52
Polystyren	1,59	Diamant	2,417

**Tabell 4** Brytningsindex för gaser vid 0 °C och 1 atm. Värdena är bestämda med natriumljus ( $\lambda = 589$  nm).

Gas	n	Gas	n
Ammoniak	1,000376	Kväve	1,000297
Argon	1,000281	Luft	1,000293
Brom	1,001132	Metan	1,000444
Helium	1,000036	Svaveldioxid	1,000686
Klor	1,000773	Syre	1,000271
Kloroform	1,001451	Väte	1,000123

**Tabell 5** Massan hos neutronen, protonen och elektronen uttryckt i enheten 1 u.

Partikel	Beteckning	Massa/u
neutron	$m_n$	1,008 665
proton	$m_p$	1,007 276
elektron	$m_e$	0,000 549

**Tabell 6** Enhetsomvandling.

$$1 \text{ u} = 1,660\ 538\ 73 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$1 \text{ u} = 931,494 \text{ MeV}/c^2$$

$$1 \text{ eV} = 1,602\ 176\ 46 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

## FYSIKALISKA KONSTANTER

Ljusets fart i vakuum	$c$	299 792 458 m/s
Permeabiliteten i vakuum	$\mu_0$	$4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Vs/(Am)}$
Permittiviteten i vakuum	$\epsilon_0$	$8,854\ 187\ 817 \cdot 10^{-12} \text{ As/(Vm)}$
Plancks konstant	$h$	$6,626\ 068\ 8(5) \cdot 10^{-34} \text{ Js}$
Elementarladdningen	$e$	$1,602\ 176\ 46(6) \cdot 10^{-19} \text{ C}$
Gravitationskonstanten	$G$	$6,673\ (10) \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$
Tyngdaccelerationen	$g$	9,806 65 m/s <sup>2</sup>
Avogadros tal	$N_A$	$6,022\ 142\ 0(5) \cdot 10^{23} \text{ st/mol}$
Luftens (skenbara) molmassa	$M_{\text{luft}}$	$29,0 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}$
Allmänna gaskonstanten	$R$	$8,314\ 472(15) \text{ J/(molK)}$
Boltzmanns konstant	$k$	$1,380\ 650\ 3(24) \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$
Elektronens vilomassa	$m_e$	$9,109\ 381\ 9(7) \cdot 10^{-31} \text{ kg}$
Elektronens viloenergi	$m_e c^2$	510,998 904 keV
Protonens vilomassa	$m_p$	$1,672\ 621\ 58 (13) \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
Protonens viloenergi	$m_p c^2$	938,271 997 MeV
Neutronens massa	$m_n$	$1,674\ 927\ 16 (13) \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
Stefan-Boltzmanns konstant	$\sigma$	$5,670\ 40(4) \cdot 10^{-8} \text{ W/(m}^2\text{K}^4\text{)}$
Wiens förskjutningskonstant	$b$	$2,897\ 769 (5) \cdot 10^{-3} \text{ Km}$
Rydbergskonstanten	$R_\infty$	$1,097\ 373\ 156\ 855(8) \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$
för väte	$R_H$	$1,096\ 775\ 83(2) \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$

Siffror inom parentes visar onoggrannheten (standardavvikelsen) i den sista givna siffran.

# PERIODISKA SYSTEMET

1 H 2 1,0																	2 He 2 4,0
3 Li 2 6,9	4 Be 1 9,0																10 Ne 3 20,2
11 Na 1 23,0	12 Mg 3 24,3																18 Ar 3 39,9
19 K 3 39,1	20 Ca 6 40,1	21 Sc 1 45,0	22 Ti 5 47,9	23 V 2 50,9	24 Cr 4 52,0	25 Mn 1 54,9	26 Fe 4 55,8	27 Co 1 58,9	28 Ni 5 58,7	29 Cu 2 63,5	30 Zn 5 65,4	31 Ga 2 60,7	32 Ge 6 72,6	33 As 1 74,9	34 Se 6 79,0	35 Br 2 79,9	36 Kr 6 83,6
37 Rb 2 85,5	38 Sr 4 87,6	39 Y 1 88,9	40 Zr 5 91,2	41 Nb 1 92,9	42 Mo 7 95,9	43 Tc - (99)	44 Ru 7 101	45 Rh 1 103	46 Pd 6 106	47 Ag 2 108	48 Cd 8 112	49 In 2 115	50 Sn 10 119	51 Sb 2 122	52 Te 8 128	53 I 1 127	54 Xe 9 131
55 Cs 1 133	56 Ba 7 137	57 La 2 139	72 Hf 6 178	73 Ta 2 181	74 W 5 184	75 Re 2 186	76 Os 7 190	77 Ir 2 192	78 Pt 6 195	79 Au 1 197	80 Hg 7 201	81 Tl 2 204	82 Pb 4 207	83 Bi 1 209	84 Po - (210)	85 At - (218)	86 Rn - (222)
87 Fr (223)	88 Ra (226)	89 Ac (227)	104 Rf (257)	105 Db (262)	106 Sg (263)	107 Bh (262)	108 Hs (265)	109 Mt (266)									
Lantanider	58 Ce 4 140	59 Pr 1 141	60 Nd 7 144	61 Pm - (147)	62 Sm 7 150	63 Eu 2 152	64 Gd 7 157	65 Tb 1 159	66 Dy 7 163	67 Ho 1 165	68 Er 6 167	69 Tm 1 169	70 Yb 7 173	71 Lu 2 175			
Aktinider	90 Th (232)	91 Pa (231)	92 U (238)	93 Np (237)	94 Pu (239)	95 Am (243)	96 Cm (245)	97 Bk (247)	98 Cf (249)	99 Es (254)	100 Fm (257)	101 Md (258)	102 No (255)	103 Lr (260)			