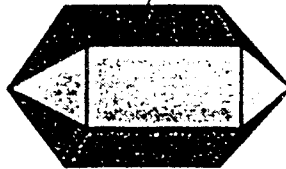
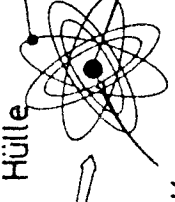





Abbildung I.1

KRISTALLE MOLEKÜLE, BIOMOLEKÜLE Chemische Grundstoffe bestehen aus Molekülen und Atomen	ATOME bestehen aus Hülle und Kern	ATOMKERNE bestehen aus Kernteilchen (Nukleonen) = Protonen (p, +) Neutronen (n)	HADRONEN sind Teilchen die der starken Wechselwirkung unterliegen	LEPTONEN QUARKS (elementar?) sind Teilchen die nur der schwachen Wechsel- wirkung unterliegen
 <p>Kristall</p>	 <p>Hülle Kern</p>	 <p>Atomkern</p>	 <p>Mesonen (π, K, \dots) (2 Quarks) Baryonen (p, n) (3 Quarks) Proton Neutron</p>	 <p>Leptonen ($e^-, \mu^-, \tau^-, \nu_e, \nu_\mu, \nu_\tau$) Quarks (u, d, s, b, t)</p>
1 cm einige Elektronenvolt (eV)	10^{-8} cm ~1000 eV	10^{-12} cm Millionen eV (MeV)	$\sim 10^{-13}$ cm Milliarden eV (GeV)	punktförmig $\leq 10^{-15}$ cm
Mikroskop Elektronenmikroskop	van de Graaff-Generator, Synchrotron Zyklotron, Betatron		Großbeschleuniger (CERN, DESY, SLAC) Speicherringe (DORIS, PETRA)	

SI-Einheiten

Größe	Einheit	Zeichen	Definition
Länge	Meter	m	Ursprünglich 1/10 000stel eines Erdmeridians, dann Definition über das Urmeter. Im SI die Strecke die Licht im Vakuum in 1/299 792 458 Sekunden zurücklegt
Masse	Kilogramm	kg	Masse des Internationalen Kilogrammprototyps
Zeit	Sekunde	s	9 192 631 770 Schwingungen der elektromagnetischen Strahlung des Hyperfeinstrukturübergangs des Grundzustands von Cäsium 133. Ursprünglich der 86400ste Teil eines Sonnentags (24 • 60 • 60).
elektrischer Strom	Ampere	A	Ein Ampere ist die Stärke eines elektrischen Stromes, der durch zwei geradlinige parallele Leiter mit einem Abstand von einem Meter fließt und der zwischen den Leitern je Meter Länge eine Kraft von $2 \cdot 10^{-7}$ N hervorruft.
Temperatur	Kelvin	K	Ein Kelvin ist der 273,16te Teil der Temperaturdifferenz zwischen dem Tripelpunkt von Wasser und dem absoluten Nullpunkt
Substanzmenge	Mol	mol	1 mol ist die Stoffmenge, die genauso viele Teilchen enthält wie in 0,012 kg des Nuklids ^{12}C vorhanden sind.
Lichtstärke	Candela	cd	Eine Candela ist die Lichtstärke, mit der ein schwarzer Strahler senkrecht zu einer Oberfläche von $1/60 \text{ cm}^2$ leuchtet, bei einer Temperatur von 2042,5 K (Erstarrungstemperatur des Platin bei Normaldruck).

In der Mechanik und der Wärmelehre haben wir nur die fünf SI-Einheiten

Länge	Definition I.3	S.4
Masse	Notation III.2 und Notation III.3	S.36 ff.
Zeit		
Temperatur	Definition X.1	S.262
Stoffmenge	Definition XI.1	S.269

benutzt.

Aus dem SI abgeleitete Größen

Größe	Einheit	Zeichen	Definition
Kraft	Newton	N	$\frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}$
Energie, Arbeit	Joule	J	$\frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2} = \text{Nm}$
Leistung	Watt	W	$\frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^3} = \frac{\text{Nm}}{\text{s}} = \frac{\text{J}}{\text{s}}$
Frequenz	Hertz	Hz	$\frac{1}{\text{s}}$
Druck	Pascal	Pa	$\frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2} = \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$

Die Definition der Größen stehen in

Kraft F	Kapitel II.2	S.35 ff.
Energie, Arbeit	W Kapitel IV.1	S.50
Leistung	Kapitel IV.4	S. 61
Frequenz ν	Kapitel IV.8	S.78
Druck	Kapitel VII.3	S.202

Verwendete Konstanten der Physik

Konstante	Zeichen	Wert
Erdbeschleunigung (Standardwert)	g	9,80665 m s ⁻²
Gravitationskonstante	G	6,672 10 ⁻¹¹ m ³ kg ⁻¹ s ⁻²
absoluter Nullpunkt	0K	- 273,16°C
Avoadro-Konstante	N _A	6,0220 10 ²³ mol ⁻¹
molare Gaskonstante	R	8,314 J mol ⁻¹ K ⁻¹
Boltzmann-Konstante	k = R N _A ⁻¹	1,3807 10 ⁻²³ JK ⁻¹

Druckeinheiten

Einheit	Zeichen	Faktor zur Umrechnung in				
		Pa	bar	at	atm	Torr
Pascal = 1 Nm ⁻²	Pa	1	10 ⁻⁵	1.02 • 10 ⁻⁵	9.87 • 10 ⁻⁶	7.50 • 10 ⁻³
Bar = 10 ⁵ Pa = 0,1 MPa	bar	10 ⁵	1	1.02	0.987	7.5 • 10 ²
Techn. Atmosphäre	at	9.81 • 10 ⁴	0.981	1	0.968	7.36 • 10 ²
Phys. Atmosphäre	atm	1.013 • 10 ⁵	1.013	1.033	1	7.6 • 10 ²
Torr	Torr	1.333 • 10 ²	1,333 • 10 ⁻³	1,36 • 10 ⁻³	1.32 • 10 ⁻³	1

Arbeits- und Energieeinheiten

Einheit	Zeichen	Faktor zur Umrechnung in				
		J	kWh	kpm	kcal	eV
Joule = 1 Nm	J	1	2,78 • 10 ⁻⁷	0,102	2,39 • 10 ⁻⁴	6,24 • 10 ¹⁸
Kilowattstunde	kWh	3,6 • 10 ⁶	1	3,67 • 10 ⁵	8,6 • 10 ²	2,25 • 10 ²⁵
Kilopondmeter	kpm	9,81	2,72 • 10 ⁻⁶	1	2,34 • 10 ⁻³	6,12 • 10 ¹⁹
Kilokalorie	kcal	4,19 • 10 ³	1,16 • 10 ⁻³	4,27 • 10 ²	1	2,61 • 10 ²²
Elektronenvolt	eV	1,6 • 10 ⁻¹⁹	4,45 • 10 ⁻²⁶	1,63 • 10 ⁻²⁰	3,83 • 10 ⁻²³	1

Mega, Giga, Tera - was kommt danach?

Von den Einheiten des SI werden Vielfache und Teile in 10er Einheiten gebildet, wobei die sprachliche Bezeichnung in 1000er Schritten vorgenommen wird. Die folgende Aufstellung gibt die Namen der einzelnen Zehnerpotenzen wider:

Potenz	Abkürzung	Bezeichnung	Erklärung
10^{18}	Exa E	Trillionen	gr. exa: über alles
10^{15}	Peta P	Billiarden	gr. petanünnein: alles umfassen
10^{12}	Tera T	Billionen	gr. to teras: ungeheuer groß
10^9	Giga G	Milliarden	gr. ho gigas: riesige Zahl
10^6	Mega M	Millionen	gr. megas: große Zahl
10^3	Kilo k	Tausend	gr. chilioi: tausend
10^0			
10^{-3}	Milli m	Tausendstel	lat. millesimus: der tausendste Teil
10^{-6}	Mikro μ	Millionstel	gr. mikros: klein, unbedeutend
10^{-9}	Nano n	Milliardstel	gr. ho nanos: zwerghaft klein
10^{-12}	Piko p	Billionstel	ital. pico: sehr klein
10^{-15}	Femto f	Billiardstel	dän.-norw. femten: 15
10^{-18}	Atto a	Trillionstel	dän.-norw. atten: 18

Im Bereich der menschlichen Sinneswahrnehmung und täglichen Erfahrung, also von 10^{-3} bis 10^3 der Basiseinheiten, wird noch feiner unterschieden. So gibt es

Potenz	Abkürzung	Bezeichnung	Erklärung
10^2	Hekto	Hundert	gr. hekaton: hundert
10^1	Deka	Zehn	gr. deka: zehn
10^{-1}	Dezi	Zehntel	lat. decem: zehn
10^{-2}	Zenti	Hundertstel	lat. centum: hundert

**Berechnung der Maxwell'schen Geschwindigkeitsverteilung
aus dem zentralen Theorem der statistischen Mechanik**

Das zentrale Theorem der statistischen Mechanik besagt für unser Beispiel

$$p_v = 4\pi v^2 dv \cdot \exp\left(-\frac{mv^2}{2kT}\right)$$

Für uns ist jedoch nicht die Wahrscheinlichkeit interessant sondern die wirkliche Verteilung, deshalb betrachten wir $N(v)$, wobei $N(v) \sim p_v$ ist.

$$dN(v) \sim 4\pi v^2 dv \cdot \exp\left(-\frac{mv^2}{2kT}\right)$$

mit $n(v) = \frac{1}{N} \frac{dN}{dv}$ folgt

$$n(v)Ndv \sim 4\pi v^2 dv \cdot \exp\left(-\frac{mv^2}{2kT}\right)$$

$$\Leftrightarrow n(v)dv \sim 4\pi v^2 \frac{1}{N} \cdot \exp\left(-\frac{mv^2}{2kT}\right) dv$$

die Proportionalitätskonstante sei C , dann gilt

$$\Leftrightarrow n(v)dv = C \cdot 4\pi v^2 \frac{1}{N} \cdot \exp\left(-\frac{mv^2}{2kT}\right) dv$$

Die Gesamtzahl der Teilchen muß erhalten bleiben, also muß gelten:

$$\int_0^{\infty} n(v)dv = 1$$

also folgt

$$\frac{1}{N} \int_0^{\infty} C \cdot 4\pi v^2 \cdot \exp\left(-\frac{mv^2}{2kT}\right) dv = 1$$

$$\Leftrightarrow C4\pi \int_0^{\infty} v^2 \cdot \exp\left(-\frac{mv^2}{2kT}\right) dv = N$$

Um dieses Integral lösen zu können, substituiert man

$$x = \left(\frac{m}{2kT}\right)^{\frac{1}{2}} v$$

dann folgt

$$v^2 = \frac{2kT}{m} x^2$$

und

$$dv = \sqrt{\frac{2kT}{m}} dx$$

eingesetzt in
$$\int_0^{\infty} v^2 \cdot \exp\left(-\frac{mv^2}{2kT}\right) dv = \frac{N}{4\pi C}$$

ergibt
$$\int_0^{\infty} x^2 \left(\frac{2kT}{m}\right) \cdot \left(\frac{2kT}{m}\right)^{\frac{1}{2}} \exp(-x^2) dx = \frac{N}{4\pi C}$$

$$\Leftrightarrow \left(\frac{2kT}{m}\right)^{\frac{3}{2}} \int_0^{\infty} x^2 \cdot \exp(-x^2) dx = \frac{N}{4\pi C}$$

mit
$$\int_0^{\infty} x^2 \cdot \exp(-ax^2) dx = \frac{\sqrt{\pi}}{4a^{\frac{3}{2}}} \quad \text{(in unserem Fall } a = -1)$$

folgt
$$\left(\frac{2kT}{m}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot \frac{\sqrt{\pi}}{4} = \frac{N}{4\pi C}$$

$$\Leftrightarrow \left(\frac{2kT}{m}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot \pi^{\frac{1}{2}} \cdot \pi = \frac{N}{C}$$

$$\Leftrightarrow \frac{1}{N} \left(\frac{2\pi kT}{m}\right)^{\frac{3}{2}} = \frac{1}{C}$$

$$\Leftrightarrow N \left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{\frac{3}{2}} = C$$

Diese Konstante eingesetzt in
$$n(v)dv = C \cdot 4\pi v^2 \frac{1}{N} \cdot \exp\left(-\frac{mv^2}{2kT}\right) dv$$

ergibt
$$n(v)dv = N \left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot 4\pi v^2 \frac{1}{N} \cdot \exp\left(-\frac{mv^2}{2kT}\right) dv$$

$$\Leftrightarrow n(v) = \left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot 4\pi v^2 \cdot \exp\left(-\frac{mv^2}{2kT}\right)$$

Damit ergibt sich die Maxwell'sche Geschwindigkeitsverteilung

$$n(v) = 4\pi \left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{\frac{3}{2}} v^2 \cdot \exp\left(-\frac{mv^2}{2kT}\right)$$

¹ Diese Formel kann z.B. im Taschenbuch der Mathematik von Bronstein-Semendjajew nachgeschlagen werden.

Empfohlene Literatur zur Vorlesung²

- Alonso**, Marcelo / **Finn**, Edward J.: Physik. [Übers.: Anneliese Schimpl].- Bonn, München, Reading; Mass.: Addison-Wesley 1988
- Bergmann, Ludwig: Lehrbuch der Experimentalphysik/ **Bergmann, Schäfer**. 10., bearb. u. erw. Aufl. Berlin; New York, de Gruyter 1990 (Band 1 Mechanik, Akustik, Wärme)
- Gerthsen**, Christian: Physik: ein Lehrbuch zum Gebrauch neben Vorlesungen [...]. Hg: Christian Gerthsen; Helmut Vogel.- 17., verb. und erw. Aufl. Berlin, Heidelberg, [...]: Springer 1993
- Kittel, Charles: Mechanik. Hg: Charles Kittel, Walter D. Knight, Malvin A. Rudermann, A.Carl Helmholtz, Burton j. Moyer.- 4.durchges. Aufl. Braunschweig, Wiesbaden: Vieweg 1986 (= **Berkley-Physik-Kurs, Band 1**)
- Tipler, Paul A.:** Physik/ Paul A. Tipler.[...] Hrsg. der dt. Ausgabe: Dieter Gerlich und Götz Jerke. Heidelberg, Berlin, Oxford: Spektrum Akad. Verlag 1994

Weitere Literatur zur Mechanik und Thermodynamik

- Bartels, Julius (Hg.): Geophysik.- Frankfurt am Main: Fischer Bücherei 1960
(= Das Fischer Lexikon 20)
- Böhm, Albrecht/ Bethke, Siegfried: Physik I für Physiker und Lehramtskandidaten. Manuskript zur Vorlesung im WS 1993/94.- RWTH-Aachen: 1993
- Brandt**, S. / **Dahmen**, H.D.: Physik. Eine Einführung in Experiment und Theorie. Band 1 Mechanik.- Berlin, Heidelberg, New York: Springer 1977
- Bronstein**, I.N./ Semendjajew, K.A.: Taschenbuch der Mathematik.- 7. durchges. und verb. Aufl. Zürich; Frankfurt a.M.: Verlag Harry Deutsch 1967
- Crawford, Frank S.: Schwingungen und Wellen.- 4.durchges. Aufl. Braunschweig, Wiesbaden: Vieweg 1984 (= **Berkley-Physik-Kurs, Band 3**)
- Deutschmann, Martin: Kursvorlesung Physik I für Physiker und Lehramtskandidaten. Manuskript zur Vorlesung.- RWTH-Aachen: 1973
- Dorn**, Friedrich/ **Bader**, Franz (Hg.): Physik - Oberstufe. Band MS.- Hannover: Schroedel Schulbuchverlag 1976
- Flügge**, Günter: Physik I (für Physiker und Lehramtskandidaten). Manuskript zur Vorlesung im WS 1996/97.- RWTH-Aachen: 1996

² Die im Umgangssprachlichen geläufigen Bezeichnungen der Bücher sind fett hervorgehoben. Mit diesen Bezeichnungen sind die Werke auch im Abbildungsverzeichnis bibliographiert.

- Flügge, Günter/ Braunschweig, Wolfgang: Physik II für Physiker und Lehramtskandidaten. Manuskript zur Vorlesung im SS 1995.- RWTH-Aachen: 1995³
- Grehn, Joachim (Hg): **Vieweg Physik** für den kursorientierten Unterricht der gymnasialen Oberstufe.- Düsseldorf, Braunschweig: Vieweg Schulverlag 1978 (Teil 1: Mechanik)
- Grehn, Joachim (Hg): Vieweg Physik für den kursorientierten Unterricht der gymnasialen Oberstufe.- Düsseldorf, Braunschweig: Vieweg Schulverlag 1978 (Teil 2: Gravitation, Mechanische Schwingungen und Wellen, Elemente der Wärmelehre)
- Hammer**, Karl: Grundkurs der Physik / von Karl Hammer. 1. Mechanik-Wärmelehre: mit 25 Tabellen.- 6., verb. Auflage, München, Wien: Oldenbourg 1991
- Orear**, Jay: Physics.[Übers. aus dem Amerikanischen von Jürgen Häger...].- München; Wien: Carl Hanser Verlag 1982
- Recknagel**, Alfred: Physik. Mechanik.- 16.Auflage, Berlin: VEB Verlag Technik 1986
- Stuart, Herbert A.: Kurzes Lehrbuch der Physik. Hg: H.A. **Stuart**, G. **Klages**. 10.,neubearb. Auflage, Berlin, Heidelberg, [...]: Springer 1984

³ abgekürzt als FlüggeT