Plamen Petkov, Ruzha Harizanova

Physikalische Aufgaben

für die Studenten der Fachrichtung „Verfahrenstechnik“

Universität für Chemische Technologie und Metallurgie

Sofia, 2009

Vorwort

Das vorligende Lehrmittel ist als Hilfe für alle Studenten in ihren I-ten und II-Semester in Physik für die Fachrichtung „Verfahrenstechnik“ der Universität für Chemische Technologie und Metallurgie gedacht. Das Inhalt folgt das Vorlesungsmaterial und ist als eine natürliche Beihilfe und Verbreiterung der Physikkenntnisse von der Studenten bestimmt.
Die Authoren möchten ihren herzlichen Dank an alle Kollegen aus Lehrstuhl „Physik“ an der Universität für Chemische Technologie und Metallurgie und besonderes an Herrn Prof. Dr. Habil. Hristo Kanazirski für die Hilfsbereitschaft und die kritische Korrektur, sowie auch für die wertvollen Bemerkungen - bezüglich des Inhalts dieses Schreibens aussprechen!

Sofia, 2009 **Die Autoren**

Physikalische Aufgaben

Aufgabensammlung
1.Auflage

Autoren:
Prof. Dr. Ing. Plamen Petkov
Assist. Dr. Ruzha Harizanova
Referent:
Prof. Dr. Habil. Hristo Kanazirski

Verlag – UCTM-Sofia
Druck- und buchbinderische Verarbeitung: LKC an UCTM
Druck – LKC an UCTM

ISBN 978-954-465-026-1

Inhalt

Verzeichnis der oft benutzten physikalischen Grössen

	Name	Symbol	Einheit
1	**2**	**3**	**4**
Raum und Zeit			
1	Länge	h, ℓ, r, d, s, δ	m
2	Ortsvektor	$\vec{r}$	
3	kartesische Koordinaten	x, y, z	
4	Fläche	S	m^2
5	Volumen	V	m^3
6	ebener Winkel	α, β, γ	rad
7	Raumwinkel	Ω, ω	sr
8	Zeit	t	s
9	Scnwingungsdauer, Periode	T	s
10	Frequenz	ν, f	Hz, s^{-1}
11	Kreisfrequenz	ω	rad/s
Mechanik			
12	Weg	s	m
13	Geschwindigkeit	u, v, c	m/s
14	Beschleunigung	a, a_t, a_n	m/s^2
15	Winkelgeschwindigkeit	ω	rad/s
16	Winkelbeschleunigung	ε	rad/s^2
17	Radius	R	m
18	Masse	m	kg
19	Dichte	ρ	kg/m^3
20	Kraft	F	N
21	Impuls	p	kg.m/s
22	Druck	p	Pa
23	Gewicht	G	N
24	Arbeit	A	J
25	Energie	E, W, T, U	J
26	Trägheitsmoment	I	kg/m^2
27	Elastizitätsmodul	E	Pa
28	Schubmodul, Torsionsmodul	G	Pa
29	Kompressionsmodul	K	Pa
30	Poissonzahl	ν	-
31	Dehnzahl	α, 1/E	Pa^{-1}
32	Kompressibilität	1/K	Pa^{-1}
33	Oberflächenspannung	σ	N/m
34	Amplitude	A, a	m
35	Auslenkung	x, ξ	m
36	Anfangsphase der Schwingung	φ	rad

1	2	3	4
37	Federkonstante	k	N/m
38	Abklingkonstante	β, δ	s^{-1}
39	Relaxationszeit	τ	s
40	Wellenlänge	λ	m
41	Wellenzahl	k	rad/m
42	Energiedichte	w	J/m^3
43	Wellenintensität	I	W/m^2
44	Drehimpuls	L	$kg.m^2s^{-1}$
45	Druckspannung	p, σ	Pa
46	Schalldruck	p_a	Pa
47	kinematische Viskosität	η	Pa.s
48	dynamische Viskosität	ν	m^2/s
Molekularphysik und Thermodynamik			
49	absolute Temperatur	T	K
50	Temperatur	t	°C
51	Wärmemenge	Q	J
52	innere Energie	U	J
53	Wärmekapazität	C	J/K
54	spezifische Wärmekapazität	c	J/(K.kg)
55	molare Wärmekapazität	Cp, Cv	J/(molK)
56	Entropie	S	J/K
57	Wärmestrom	Φ	W
58	Wärmeleitfähigkeit, Wärmeleitzahl	λ, σ, K	W/(K.m)
59	Stoffmenge	n, ν	mol
60	Molarmasse	M	kg/mol
61	Molarvolumen	V_m	m^3/mol
62	Konzentration (Teilchenanzahl in 1 m^3)	n	m^{-3}
63	mittlere freie Weglänge	λ	m
64	Wirkungsquerschnitt	σ	m^2
65	Diffusionskoeffizient	D	m^2/s
66	spezifische Phasenumwandlungs-wärme	q	J/kg
Elektrizität und Magnetismus			
67	Stromstärke	I	A
68	Stromdichte	j	A/m^2
69	elektrische Ladung	Q, q	C
70	Linienladungsdichte	ℓ	C/m
71	Flächenladungsdichte	σ	C/m^2
72	Raumladungsdichte	ρ	C/m^3

1	2	3	4
73	Feldstärke	E	V/m
74	elektrisches Potential	φ	V
75	elektrische Spannung	U	V
76	elektromotorische Kraft	$\mathcal{E}$	V
77	elektrisches Dipolmoment	p_e	C.m
78	Fluss der Feldstärke	Φ	C.m/F
79	elektrische Polarisation	P	C/m^2
80	(relative) Dielektrizitätskonstante	$\varepsilon, \varepsilon_r$	-
81	dielektrische Suszeptibilität	$æ_e$	-
82	Kapazität	C	F
83	elektrischer Fluss	Φ, Ψ	C
84	elektrische Flussdichte	D	C/m^2
85	elektrischer Widerstand	R	Ω
86	spezifischer elektrischer Widerstand	ρ	Ω.m
87	Temperaturkoeffizient des elektrischen Widerstandes	α	K^{-1}
88	spezifische elektrische Leitfähigkeit	σ, γ	S/m
89	elektrische Leitfähigkeit	G	S
90	magnetische Flussdichte	B	T
91	magnetischer Fluss	Φ	Wb
92	magnetisches Moment	P_m, p_m	$A.m^2$
93	Magnetisierung	M, J, H_i	A/m
94	magnetische Feldstärke	H	A/m
95	magnetische Suszeptibilität	æ	-
96	relative magnetische Permeabilität	μ_r	-
97	magnetische Feldkonstante	μ_o	H/m
98	magnetische Permeabilität	μ	H/m
99	Induktivität	L	H
100	gyromagnetische Faktor	g	C/kg
Optik			
101	Lichtstärke	I	cd
102	Lichtstrom	Φ	lm
103	Beleuchtungsstärke	E	lx
104	Leuchtdichte	L	cd/m^2
105	Lichtausstrahlung	M	lm/m^2
106	Lichtausbeute	η	lm/W
107	Strahldichte	I_A, Le	W/(sr.m)
108	Einfallswinkel	α	
109	Brechungswinkel	β	
110	Brechzahl	n	-

1	2	3	4
111	Dispersion	D	-
112	Emissionsgrad	E_λ, E_ν	W/m^3
113	Absorptionsvermögen	α_λ, α_ν	-
114	totaler Emissionsgrad	E_T	W/m^2
Atom- und Kernphysik			
115	Ordnungszahl (Protonenzahl)	Z	-
116	Massenzahl (Nukleonenzahl)	A	-
117	magnetisches Moment von Teilchen	μ	$A.m^2$
118	Quantenzahlen	n, l, m, s	-
119	Spin (Eigendrehimpuls) von Teilchen	L_s, L_S, L_I	J.s
120	Halbwertszeit	T	s
121	mittlerer Lebensdauer	τ	s
122	Zerfallskonstante	λ	s^{-1}
123	Aktivität	A	Bq
124	linearer Absorptionskoeffizient	μ, μ_ℓ	m^{-1}
125	Massenabsorptionskoeffizent	μ_m	m^2/kg
Festkörperphysik			
126	Fermienergie	W_F, μ	J, eV
127	Austrittsarbeit	A	J, eV
128	innerer Kontaktpotenzialdifferenz	$\Delta\varphi_{12}$	V
129	äusserer Kontaktpotenzialdifferenz	$\Delta\varphi_{12}^{'}$	V
130	Seebeck-Koeffizient, Thermokraft	α	V/K

§I Punktmechanik. Kinematik.

1 Materieller Punkt (Massenpunkt) - ein Modellkörper mit der Masse m von dem die Form und die Abmessungen nicht im Betracht genommen werden**.**

2 Gegenstand der Kinematik – erforscht die Bewegungen der Körper aber nicht die Ursachen, die diese Bewegungen bewirken.

2.1Grundbegriffe der Kinematik

2.1.1 Ortsvektor $\vec{r}(x, y, z)$– die Koordinaten dieses Vektors bestimmen eindeutig die Momentanlage des Punktes.

2.1.2 Bahnkurve – die gedachte Kurve, die die Positionsänderung des materiellen Punktes beschreibt.

2.1.3 Weg – die Länge der durchgefahrenen Kurve.

2.1.4 Ortskurve – der minimale Abstand zwischen die End- und Anfangsposition des Punktes. Die Ortskurve ist ein Vektor.

2.2 Kinematische Grössen

2.2.1 Geschwindigkeit

2.2.1.1 Momentangeschwindigkeit

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt},$$

wenn die Ortskurvegrösse $|d\vec{r}|$ gleich den durchgefahrenen Weg ds ist: $|d\vec{r}| = ds$, dann:

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

2.2.1.2 mittlere Geschwindigkeit $\overline{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$.

Die Masseinheit für Geschwindigkeit ist $\left[\frac{m}{s}\right]$**.**

2.2.2 Beschleunigung

2.2.2.1 Momentanbeschleunigung

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$$

2.2.2.2 mittlere Beschleunigung

$$\overline{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

2.2.2.3 Tangentialbeschleunigung (Bahnbeschleunigung)

$$a_\tau = \frac{dv}{dt}$$

2.2.2.4 Normalbeschleunigung (Radialbeschleunigung)

$$a_n = \frac{v^2}{R},$$

R – Bahnkrümmung.

Die Einheit für Beschleunigung ist $\left[\frac{m}{s^2}\right]$.

2.2.3 Bewegungsarten

2.2.3.1 <u>gleichförmige</u> $-\vec{v} = \text{const},\ s(t) = s_o + vt$

2.2.3.2 <u>unregelmässige</u> Bewegungen mit konstanter Beschleunigung:

2.2.3.2.1 Beschleunigungsbewegung

$$v(t) = v_o + at, \qquad s(t) = s_o + v_o t + \frac{1}{2}at^2$$

2.2.3.2.2 Verzögerungsbewegung

$$v(t) = v_o - at, \qquad s(t) = s_o + v_o t - \frac{1}{2}at^2$$

2.2.3.2.3 Kreisbewegung mit konstanter Geschwindigkeit -

$$a_\tau = 0,\ a_n = \omega^2 R,\ \text{wobei:}$$

$$\vec{v} = \vec{\omega} \times \vec{R}$$

$\vec{v}$ **-** Geschwindigkeit;

$\vec{\omega}$ **-** Winkelgeschwindigleit, $\omega = 2\pi\nu\ \left[\frac{rad}{s}\right]$,

wobei: ν - Linearfrequenz;

$\vec{R}$ **-** Ortsvektor.

3 Aufgaben

1.1. Ein Fahrradfahrer bewegt sich auf schiefen Weg zwischen Punkt A und Punkt B. Beim Aufsteigen fährt er mit Geschwindigkeit v_1 = 7 km/h und zurück - mit Geschwindigkeit v_2 = 22 km/h. Berechnen Sie die mittlere Geschwindigkeit des Fahrradfahrers.

1.2. Die Bewegungsgleichung eines materiellen Punktes ist $x = v_o t + 0.5at^2$, hierbei v_0 = 300 m/s und a = 8 m/s^2. Berechnen Sie die Momentangeschwindigkeit v_1 nach t = 30 s und die mittlere Geschwindigkeit des Punktes.

1.3. Der Weg, der von einem Auto auf gekrümmte Fahrbahn durchgefahren ist, hat ein Radius R = 50 m. Die Bewegungsgleichung für diesen Fall lautet $s = A + 2Bt + Ct^2$, hierbei A = 15 m, B = 12 m/s und C = - 0.75 m/s^2. Berechnen Sie die Geschwindigkeit v, die Tangentialbeschleunigung a_t, die Normalbeschleunigung a_n und die Beschleunigung a, die das Auto nach 8 Sekunden besitzt.

1.4. Ein Zug mit Länge l = 80 m fährt gleichförmig mit Geschwindigkeit v_1 = 54 km/h. Welche Zeit braucht dieser Zug, um einen anderen Zug vorbei zu fahren, wenn der zweite Zug mit Geschwindigkeit v_2 = 90 km/h gegenseitig fährt?

1.5. Zwei Autos bewegen sich unregelmässig. Das erste fährt mit Anfangsgeschwindigkeit v_{01} = 15 m/s und Beschleunigung a_1 = 0.7 m/s^2. Das zweite Auto fährt mit Anfangsgeschwindigkeit v_{02} = 30 m/s und Beschleunigung a_2 = - 0.9 m/s^2. In welcher Zeit werden die Geschwindigkeiten dieser Autos ausgleichen und welche Wege sind von beiden durchfahren.

1.6. Ein Auto fährt auf schiefen Weg und die Zahl seiner Radumdrehungen wächst mit 0.08 pro Sekunde. Berechnen Sie die Winkelgeschwindigkeit ω und Lineargeschwindigkeit v des Rades und Tangentialbeschleunigung a_τ, Normalbeschleunigung a_n und Totalbeschleunigung a eines Periferpunktes nach 5 Minuten, wenn das Radradius R = 20 cm ist.

1.7. Die Winkelgeschwindigkeit ω eines Rades, das sich mit konstanter Beschleunigung bewegt, wird genau ω = 20 rad/s nach 10 Undrehungen. Berechnen Sie die Winkelbeschleunigung.

1.8. Einer Ball ist senkrecht nach oben geworfen. Bestimmen Sie die erreichte Höhe h, wenn der Ball nach t = 3 s auf der Erde zurück gefallen ist. Die Reibung mit der Luft kann missachtet werden.

1.9. Die Weg-Zeit Gesetze eines Massenpunktes sind entsprechend: s = 3, s = t, $s = 5 + 0{,}2t^2$, $s = 2t – 3t^2$, $s = 8 – 2t + 0{,}5t^2$. Schreiben Sie die Geschwindigkeit-Zeit Gleichungen und stellen Sie die beiden Abhängigkeiten (Weg-, Geschwindigkeit-Zeit) graphisch dar.

1.10. In der letzten Sekunde seiner Bewegung ist ein fallender Körper zwei mal den Weg, der in der vorrigen Sekunde der Bewegung durchgegangenen ist, gelaufen. Bestimmen Sie die Höhe von der ist der Körper gefallen ist.

§ II Dynamik. Impulserhaltungsgesetz.

1 Gegenstand der Dynamik – erforscht die Bewegungen der Körper und berücksichtigt die Ursachen, die diese Bewegungen bewirken.

2 Newton-Gesetze

2.1 Trägheitskoordinatensysteme – die Koordinatensysteme bezüglich die die Bewegung der materiellen Punkte betrachtet wird**;**

2.2 Bewegungsgleichung in der klassischen Mechanik

$$\vec{F} = m\vec{a}$$

2.3 Wirkung, Gegenwirkung und Wechselwirkung – jede Wechselwirkung hat der Charakter einer Gegenwirkung**.**

3 Impuls und Impulserhaltungsgesetz

3.1 Impuls - $\vec{p} = m\vec{v}$, $\left[\frac{kg.m}{s}\right]$

3.2 2-te Newton-Gesetz – eine universale Formulierung**:**

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$$

3.3 Impulserhaltungsgesetz - wenn die resultierende auf dem Körper wirkende Kraft $\vec{F} = 0$, dann ist $d\vec{p} = 0$ und infolgedessen, $\vec{p} = \text{const}$**.**

4 Aufgaben

2.1. Einer Stein mit Masse m = 2 kg bewegt sich auf schiefe Ebene und hat Geschwindigkeit v = 5 m/s. Wegen regelmässiger Reibungskraft, hält er in 15 s an. Berechnen Sie die Reibungskraft F.

2.2. Auf einer festen Rolle ist eine Schnur übergelegt. An beiden Enden sind zwei Laste angehängt, die mit Massen m_1 = 300 g, bzw. m_2 = 250 g sind. Mit welcher Beschleunigung a bewegen sich diese zwei Laste und wie gross ist die elastische Kraft F_o, die auf die Schnur einwirkt ?

2.3. Ein Kind, das mit Geschwindigkeit v = 10 m/s läuft, springt auf einen mit Geschwindigkeit v_1 = 7 m/s bewegenden Schlitten. Welche Geschwindigkeit v_2 würde der Schlitten nach dem Sprung bekommen, wenn die Massen des Kindes und des Schlittens m_1 = 20 kg, bzw. m_2 = 30 kg sind ?

2.4. Ein Zug fährt mit Anfangsgeschwindigkeit v_o = 54 km/h und hat ein Gewicht G = 5.10^6 N. Der Reibungskoeffitient ist k = 0.002 bei einer Betriebskraft F = 3.10^5 N. Berechnen Sie die Geschwindigkeit und den vom Zug durchfahrenen Weg nach 1 Minute.

2.5. Ein Boot mit Masse $M = 160$ kg und Länge $l = 5$ m befindet sich in Ruhe. Welche Strecke s wird vom Boot durchfahren, wenn ein Mensch mit Masse $m = 70$ kg von dem Heck bis zur Spitze überschritt.

2.6. Ein Flugzeug macht einen Looping mit Radius $R = 2000$ m und bewegt sich mit Geschwindigkeit $v = 900$ km/h. Finden Sie die Kräfte F_1 und F_2 , mit der der Pilot auf dem Sessel an oberstem und an unterstem Punkt einwirkt, wenn seine Masse $m = 75$ kg ist.

2.7. Ein Auto fährt gleichförmig mit Geschwindigkeit $v = 90$ km/h und hat eine Masse $m = 1.2$ t. Mit welchen Kräften F_1, F_2 und F_3 würde es auf einer Brücke einwirken, wenn die Brücke:

- flach ist;
- nach aussen gewölbt ist;
- nach innen gewölbt ist ? (Das Krümmungsradius ist $R = 30$ m).

2.8. Einer Zug der Masse $m = 1000$ t bewegt sich mit einer Geschwindigkeit $v_o= 72$ km/h. Bestimmen Sie die anhaltende Kraft F, wenn der Zug nach $t = 1.5$ min bremst und den für diese Zeit durchgefahrenen Weg s.

2.9. Einer Raumschiff hat die Masse $M = 1$ t. Nachdem eine Geschwindigkeit $v = 616$ km/h erreicht worden ist, wird einer Teil des Raumschiffes der Masse $m = 400$ kg getrennt. Wenn die von dieser Teil erreichte Geschwindigkeit $v_2 = 666$ km/h ist, bestimmen Sie die Geschwindigkeit der Reste des Raumschiffes nach der Trennung. Alle Bewegungen sollten bezüglich die Erde betrachtet werden.

2.10. Einer Wagen mit Sand hat die Masse $M = 5.10^3$ kg und befindet sich auf eine waagerechte Bahn. Der Sand ist von einem Geschoss mit Masse $m = 5$ kg und Geschwindigkeit $v = 400$ m/s getroffen. Wenn der Geschoss den Sand unter einem Winkel 36° trifft, bestimmen Sie die Geschwindigkeit des Wagens nachdem der Geschoss im Sand gebremst worden ist.

§ III Energie und Arbeit. Energieerhaltungsgesetz.

1 Mechanische Arbeit A – das Skalarprodukt von der wirkenden Kraft $\vec{F}$ und der Ortskurve $d\vec{s}$ im Falle krummliniger Bewegung und konstanter im Rahmen der Strecke ds Kraft:

$$dA = \vec{F} \bullet d\vec{s} = Fds\cos\alpha,$$

α – Winkel zwischen die Richtungen der Vektoren $\vec{F}$ und $d\vec{s}$.
Die intergralle Arbeit ist dann:

$$A = \int_s dA$$

Im Falle einer geradlinigen Bewegung und einer konstanten wirkenden Kraft:

$$A = Fs\cos\alpha,$$

wobei:
$\vec{F}$ - wirkende Kraft;
s - durchgefahrener Weg.
Masseinheit für die Arbeit - Joule [J].

2 Leistung - P [W] – die für 1 Sekunde geleistete Arbeit.
2.1 Momentanleistung p

$$p = \frac{dA}{dt} = \vec{F} \bullet \vec{v}$$

2.2 mittlere Leistung P – die für Zeit t geleistete Arbeit

$$P = \frac{A}{t}$$

3 Mechanische Energie – W [J]

$$W = W_K + W_P$$

wobei:
W_K – kinetische Energie;
W_P – potentielle Energie.

3.1 W_K – Energie der Bewegung: $W_K = \frac{mv^2}{2}$;

3.2 W_P – hängt von den wirkenden Kräfte und die Körperpositionierung ab.

4 Energieerhaltungsgesetz

Die auf dem mechanischen System geleistete Arbeit führt zu eine Energieänderung:

$$A_a + A_d = \Delta W = \Delta W_K + \Delta W_P$$

wobei:

- A_a – Arbeit der äusseren Kräfte;
- A_d - Arbeit der dissipativen Kräfte.

In dem Sonderfall eines konservativen und geschlossenen Systems bleibt die mechanische Energie konstant (Energie Erhaltungssatz):

$$\Delta W = 0$$

5 Aufgaben

3.1. Ein Auto mit Masse m = 2.5 t steigt einen schiefen Weg auf. Die Neigung dieser Strecke ist 5 % und der Reibungskoeffizient beträgt k = 0.005. Berechnen Sie die vom Motor geleistete Arbeit, wenn das Auto eine Strecke s = 2 km anfährt. Wie gross ist die Leistung des Motors, wenn die Fahrtzeit t = 6 Minuten ist?

3.2. Berechnen Sie die Leistung des Motors, wenn ein Auto mit Masse m = 1500 kg vom Platz mit konstanter Beschleunigung abfährt und Strecke s = 100 m für 0.25 min durchfährt.

3.3. Ein Körper mit Masse m = 300 g gleitet auf schiefe Ebene von einer Höhe h = 5 m und am Ende der Ebene bekommt Geschwindigkeit v = 2.5 m/s. Berechnen Sie die Arbeit der Reibungskräfte.

3.4. Welche Leistung würde von dem Motor eines Autos geleistet werden, wenn das Auto sich mit konstanter Geschwindigkeit v = 54 km/h bewegt. Die Masse des Autos ist m = 1.3 t, die Neigung der Strecke ist 7 % und der Reibungskoeffizient ist k = 0.009. Wir betrachten folgende Fälle :

- Bewegung auf waagerechten Weg,
- Bewegung auf schiefen Weg hinauf.

3.5. Ein Flugzeug hebt sich auf eine Höhe h = 9 km und erreicht Geschwindigkeit v = 900 km/h. Wie viel mal ist die Aufsteigerungsarbeit A_1, die von den Motor des Flugzeuges geleistet war, grösser als die Beschleunigungsarbeit A_2.

3.6. Ein Geschoss mit Masse m = 9 kg läuft durch den Lauf einer Kanone, die Länge ℓ = 3 m hat und bekommt Endgeschwindigkeit v = 650 m/s. Berechnen Sie die von der Kanone geleistete Leistung.

3.7. Finden Sie die Arbeit für die Deformation einer Feder, die auf 15 cm ausgedehnt ist. Die Deformation läuft nach dem Hookschen Gesetz, wobei unter Kraft F = 29.4 N die Deformation 1 cm ist.

3.8. Einer Körper der Masse m ist unter dem Winkel α bezüglich den Horizont mit einer Geschwindigkeit v_o = 15 m/s geworfen. Auf welche Höhe soll sich der Körper befinden, so dass seine Geschwindigkeit $v = v_o/4$ gleich wäre? Die Reibung mit der Luft kann im Betracht nicht gennomen werden.

3.9. Körper mit der Mase m = 2 kg ist senkrecht von einer Höhe h = 6.5m nach oben mit einer Geschwindigkeit v_o = 8 m/s geworfen. Der Körper fällt auf der Erde mit einer Geschwindigkeit v = 6 m/s. Bestimmen Sie die Arbeit der Reibungskräfte.

3.10. Mit welcher Geschwindigkeit fliegt eine Kugel mit der Masse m = 20 g aus einer Federpistole aus, wenn der Feder bei dem Schuss auf $\Delta x = 8$ cm zusammenzieht. Die Elastizitätskonstante der Feder ist k = 240 N/m.

§ IV Relativistische Mechanik

1 Relativistische Mechanik – Mechanik der hohen Geschwindigkeiten (v ~ c)
$c = 3.10^8$ m/s – Lichtgeschwindigkeit im Vakkum

2 Folgerungen aus den Lorentztransformationen

2.1 Längekontraktion

$$\ell = \ell_o \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \Rightarrow \ell < \ell_o$$

2.2 Zeitdilatation. Zeitdauer in verschiedenen Inertialsysteme

$$\tau = \frac{\tau_o}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

2.3 Masse

$$m = \frac{m_o}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

2.4 Zusammenhang zwischen Masse und Energie

$$W = mc^2$$

2.5 Kinetische Energie eines freien Körpers

$$W_K = mc^2 - m_o c^2$$

3 Aufgaben

4.1. Eine Stange bewegt sich eines Trägheitssystems entlang mit Geschwindigkeit v. Berechnen Sie diese Geschwindigkeit, wenn die Abkürzung iher Länge 1 % beträgt.

4.2. Bestimmen Sie die Masse des Elektrons, das eine kinetische Energie $W_k = 650$ MeV hat.

4.3. Wie gross sei die Spanung, die ein Elektron bis zur Geschwindigkeit $v = 0.975c$ beschleunigt.

4.4. Vergleichen Sie die Impulsen eienes sich mit Gescwindigkeit $v = 0.68c$ bewegenden Eelektrons, die nach klassischer und relativistischer Mechanik berechnet sind.

4.5. Berechnen Sie die Elektrongeschwindigkeit, wenn seine kinetische Energie $W_k = 0.3$ MeV beträgt. Verwenden Sie die Verfahren der klassischen und relativistischen Theorie.

4.6. Drücken Sie die Abhängigkeit des Impulses p von der kinetischen Energie W_k aus. Wie gross ist der Impuls eienes Protons mit kinetischer Energie $W_k = 10$ GeV.

4.7. Die Länge eines Raumschiffes beträgt auf der Erde $\ell_o = 100$ m. Während der Fahrt, betrachtet aus der Erde, wird die Schiffslänge $\ell = 99$ m sein. Schätzen Sie die Geschwindigkeit des Raumschiffes ein.

4.8. Bei welcher Geschwindigkeit eines Körpers wird seine Masse drei mal der Körperruhemasse gleich sein?

4.9. Das Gold hat eine Dichte $\rho = 19.3 \ \ g/cm^3$, wenn das Gegenstand sich in Ruhe in einem Inertialsystem befindet. Welche Dichte wird das Gegenstand bei einer Geschwindigkeit $v = 0,9c$ haben, wenn sein Volumen konstant bleibt?

4.10. Die kinetische Energie eines Protons, bzw. eines Elektrons, ist 1 MeV gleich. Wie soll die Bewegung der zwei Teilchen beschrieben werden – klassisch oder relativistisch?

§ V Schwingungen und Wellen

1 Harmonische Schwingung – periodische Auslenkung des materiellen Punktes aus dem Gleichgewichtsposition, die mittels einer harmonischen Funktion beschrieben werden kann. Es gibt freie, sowie auch gedämpfte und erzwungene Schwingungen.

1.1 Gleichung der harmonischen Schwingung:

$$x = A\cos(\omega t + \varphi)$$

wobei:

x – Auslenkung im Moment t $[m]$;

A – Amplitude (maximale Auslenkung) $[m]$;

$\omega t + \varphi$ - Phase im Moment t $[rad - Bogenmass]$;

φ - Anfangsphase (Phasenverschiebung im Moment t_o) $[rad]$;

$\omega = 2\pi\nu$ - Kreisfrequenz $[rad/s]$;

ν - Frequenz $[s^{-1} = Hz]$;

$T = \frac{1}{\nu}$ – Periode oder Schwingungsdauer $[s]$.

1.2 Charakteristiken einer harmonischen Schwingung:

1.2.1 Geschwindigkeit:

$$v = \frac{dx}{dt} = -A\omega\sin(\omega t + \varphi)$$

1.2.2 Beschleunigung:

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} = -A\omega^2\cos(\omega t + \varphi) = -\omega^2 x$$

- elastische (zurückstrebende) Kraft (Rückstellkraft) – Hookesches Gesetz:

$$F = -kx = -m\omega^2 x \ ,$$

wobei:

k – Elastizitätskonstante.

1.2.3 Schwingungsenergie: $\qquad W = \frac{1}{2}m\omega^2 A^2$

3 Wellen – Verbreitung einer Schwingung in Raum

3.1 Gleichung einer elastischen Welle (beschreibt eine monochromatische eindimensionalle ebene Welle, die sich in die positive Richtung der Ox-Achse ausbreitet):

$$\xi(x;t) = A\cos\left(\omega\left(t - \frac{x}{v}\right)\right) = A\cos(\omega t - kx)$$

wobei:

$\xi(x;t)$ - beschreibt die Auslenkung des Schwingpunktes mit Koordinate x im Moment t;

$\omega = \frac{2\pi}{T}$ - Kreisfrequenz;

T – Periode der Welle;

$v = \frac{\lambda}{T}$ – Ausbreitungsgeschwindigkeit der Welle;

$k = \frac{2\pi}{\lambda}$ - Wellenzahl;

$\Delta\varphi = k(x_1 - x_2) = \frac{2\pi}{\lambda}(x_1 - x_2)$ - Phasenunterschied zwischen die Schwingungen in Punkten x_2 und x_1.

4 Aufgaben

5.1. Ein materieller Punkt schwingt harmonisch mit einer Amplitude A = 9 cm und mit einer Kreisfrequenz ω = 5 rad/s. Berechnen Sie die Beschleunigung dieses Punktes im Moment t, in dem seine Geschwindigkeit v = 4 cm/s ist.

5.2. Auf einer Feder ist ein Körper mit Masse m = 5 kg angehängt. Wenn es bekannt ist, dass unter Kraft F = 15 N die Feder sich auf 2 cm verlängert, bestimmen Sie die Schwingungsdauer dieser Schwingung.

5.3. Schallschwingungen verbreiten sich in der Luft und haben dabei Amplitude A = 0.5 mm, Frequenz ν = 300 Hz und Wellenlänge λ = 90 cm. Berechnen Sie die Ausbreitungsgeschwindigkeit v und die maximale Geschwindigkeit der Luftteilchen.

5.4. Finden Sie die Phasenverschiebung einer Schwingung, wenn für Zeit t = 0.5 s die Auslenkung x gleich ein viertel der Amplitude wäre. Die Schwingungsdauer ist T = 6 s.

5.5. Bestimmen Sie die Masse eines Körpers, der harmonisch mit Amplitude A = 25 cm, mit Frequenz 7 Hz und mit Phasenverschiebung $\phi = 45^{o}$ schwingt, wenn die gesamte Energie $W = 5.10^{-3}$ J ist. Wann wird die kinetische Energie gleich der potentiellen Energie sein?

5.6. Welche Phasendifferenz haben zwei Punkte, die in Abstände 12 m und bzw. 20 m von der Wellenquelle liegen? Die Schwingungsdauer ist T = 5 ms und die Ausbreitungsgeschwindigkeit ist gleich v = 450 m/s.

5.7. Auf einer Feder aufgehängter Körper schwingt harmonisch mit Amplitude 4 cm. Bestimmen Sie die gesamte Energie des Körpers, wenn die Elastizitätskonstante der Feder 10 N/cm beträgt.

5.8. Schreiben Sie die Gleichung eines linearen harmonischen Schwingers, wenn der materielle Punkt 150 Schwingungen pro 1 Minute macht, die Amplitude 6 cm ist und die Anfangsphase 45° beträgt.

5.9. Materieller Punkt mit Masse m = 10 g schwingt harmonisch der Gleichung $x = 0.05\sin\left(\frac{\pi}{5}t + \frac{\pi}{4}\right)$ m gemäss. Schätzen Sie die maximale wirkende Kraft und die gesamte Energie des Schwingers ab.

5.10. Zwei Kugeln mit Massen $m_1 = 1$ kg und $m_2 = 2$ kg, die mit einer leichten Feder mit Elastizitätskonstante k = 24 N/m verbunden sind, wurden auf einem glatten Stock gefädelt. Das erste Körper erhält eine Geschwindigkeit $v_1 = 12$ cm/s. Finden Sie: 1. die Frequenz der Schwingungen dieses Systems; 2. die gesamte Energie der Schwingungen und die Amplitude.

§ VI Molekularphysik

1 Ideales Gas.

1.1 Das Modell:

- die Moleküle sind einatomig und als Massepunkte betrachtet;
- die Bewegung ist regelmessig, geradlinig und mit gleicher Wahrscheinlichkeit in die drei Richtungen des Raumes;
- Wechselwirkungen gibt nur beim Stoßen und alle Stösse wurden als ideal elastisch betrachtet.

1.2 Zustandsgrössen und die allgemeine Zustandsgleichung – thermodynamische Beschreibung:

$$pV = nRT = \frac{m}{M}RT$$

p – Druck; M – Gas Molarmasse; n – Mol Anzahl;
T – Temperatur; R – Gaskonstante;
V – Volumen; m – Gasmasse.

2 Gasgesetze

2.1 Gesetz von Boyle-Mariotte - *Bei konstanter Temperatur ist der Druck umgekehrt proportional zum Volumen:*

$$p \sim V^{-1} \ (T = \text{const})$$

2.2 Gesetz von Amontons - *Bei konstantem Volumen steigt der Druck wie die absolute Temperatur:*

$$p \sim T \ (V = \text{const})$$

2.3 Gesetz von Gay-Lussac - *Bei konstantem Druck steigt das Volumen wie die absolute Temperatur:*

$$V \sim T \ (p = \text{const})$$

3 Statistische Beschreibung

– mittlere kinetische Energie eines Moleküls:

$$W_K = \frac{3}{2} kT$$

k – Boltzmann Konstante.

- mittlere quadratische Geschwindigkeit:

$$v_q = \sqrt{\frac{3kT}{m}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$$

- ideale Gasgleichung im Rahmen der kinetischen Gastheorie

$$pV = \frac{2}{3} W_K \qquad \text{oder} \qquad p = \frac{2}{3} N W_K,$$

wobei:

$N = \frac{1}{V}$ - Konzetration der Gasmoleküle (volumenbezogene Teilchenanzahl).

4 Aufgaben

6.1. Ein Volumen V= 4.10^{-3} m^3 enthält Gas mit Masse m = 25 g und Temperatur T_1 = 473 K. Bei welcher Temperatur T_2 wird die Gasdichte $\rho_2 = 9$ kg/m^3, wenn der Druck konstant ist ?

6.2. Die Gasdichte ist $\rho = 0.26$ kg/m^3, wenn die Temperatur t = 12 ^oC und der Druck p = 6.10^5 Pa sind. Um welches Gas ist die Rede.

6.3. Bestimmen Sie die Dichte einer Gasmischung, die aus 26 g Sauerstoff und 6 g Stickstoff besteht, wenn die Temperatur $t = 32\ ^oF$ und der Druck $p = 710$ Torr sind.

6.4. Berechnen Sie die mittlere kinetische Energie W_k und die mittlere quadratische Geschwindigkeit v_q der Helium-Moleküle, wenn die Temperatur $t = 100\ ^oC$ ist.

6.5. Welche Menge Sauerstoff atmet einer Alpinist bei einem Atemzug auf, wenn er auf einem Berge ist, wo der Luftdruck genau $0.375.10^5$ Pa ist ? Es ist bekannt, daß der Mensch unter einem Druck $1.01.10^5$ Pa 1 g Sauerstoff/Atemzug aufatmet.

6.6. Im geschlossenen Behälter mit Volumen $V_o = 3\ \ell$ befindet sich 6 g Stickstoff. Berechnen Sie seinen Druck p bei einer Temperatur $t = 90\ ^oF$.

6.7. Die mittlere quadratische Geschwindigkeit der Moleküle eines Gases ist $v_q = 510$ m/s und der Gasdruck ist $p = 65$ kPa. Bestimmen Sie die Gasdichte unter diesen Bedingungen.

6.8. Zwei Gefässe sind mit einem Rohr mit Hahn verbunden. Im ersten Gefäss befindet sich ein Gas unter Druck $p_1 = 4.10^5$ Pa. Der Druck des Gases im zweiten Gefäss ist $p_2 = 1.10^5$ Pa. Das Volumen des ersten Gefässes ist $V_1 = 4.10^{-3}\ m^3$ und des zweiten – $V_2 = 7.10^{-3}\ m^3$. Welcher Druck wird nach dem Öffnen des Hahns in System eingestellt, wenn die Temperatur konstant bleibt?

6.9. Bestimmen Sie die Masse der Luft, die in einem Raum mit Volumen 60 m^3 und bei Temperatur 293 K sich befindet. Die Luftmolarmasse ist $M = 29$ g/mol und der Druck $p = 1.01.10^5$Pa.

6.10. Eine Glühbirne ist mit Gas abgefüllt. Wie viel beträgt die Gasdruck Zunahme, wenn die Temperatur vom 15°C bis 300°C sich erhöht hat?

§ VII Elektrostatik. Coulomb-Gesetz. Intensität und Potential des elektrischen Feldes.

1 Elektrostatik – Einer Abschnitt der Elekrtizitätlehre der sich mit den elktrischen Felder und Wechselwirkungen unter bewegungslose geladene Körper beschäftigt.

2 Coulomb-Gesetz – beschreibt die elektrostatische Wechselwirkungen zwischen zwei geladenen Massenpunkte.

Die Kraft zwischen zwei punktförmigen geladenen Körper im Vakuum ist an das Produkt der zwei Ladungen q_1q_2 und den Quadrat des reziproken Abstands $\frac{1}{r^2}$ zwischen die Punktladungen proportional:

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{q_1q_2}{r^2}$$

ε_o - Dielektrizitätskonstante des Vakuums;
q_1, q_2 – wechselwirkende Punktladungen;
r – Abstand zwischen die beiden Punktladungen.

Das elektrische Feld hat zwei wichtige Charakteristiken – die Intensität (Feldstärke) $\vec{E}$ und das Potential φ.

3 Feldstärke

Elektrische Feldstärke nennen wir die Feldkraft die auf einer Probeladung q_o wirkt und von der Probeladung unabhängig ist:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_o}$$

Die Einheit für die Feldstärke ist $\frac{N}{C}$ oder $\frac{V}{m}$.

Ensprechend das Coulombgesetz, erlalten wir für die Feldstärke einer Punktladung q:

$$E = \frac{q}{4\pi\varepsilon_o r^2},$$

wo:

q – Ladung, die Quelle des Feldes ist,

r – Abstand zwischen die Feldquelle und den Punkt, wo die Probeladung q_o gebracht wurde.

4 Potential

Das Potential φ ist ein Skalar, das als die potentielle elektrische Energie der Probeladung q_o beschrieben werden kann:

$$\varphi = \frac{W_P}{q_o},$$

wobei:

W_p – potentielle Energie von q_o,

q_o – Probeladung.

Die Einheit für das Potential im System SI ist $\frac{\text{J(Joule)}}{\text{C}}$ oder V. Das Potential ist eine energetische Charakteristk des Feldes.

Für das Potential einer Punktladung gilt es:

$$\varphi = \frac{q}{4\pi\varepsilon_o r},$$

q – Feldquelle,

r – Abstand zwischen die Quelle und den Punkt mit einem Potential φ.

5 Verbindung zwischen Feldstärke und Potential

$$\vec{E} = -\text{grad}\varphi = -\frac{\partial\varphi}{\partial n}\vec{n}$$

$\vec{n}$ – Normalvektor zu der Äquipotentialfläche (φ = konst).

Für ein homogenes Feld, z.B. das Feld zwischen die Platten eines Plattenkondensators, gilt es:

$$E = -\frac{\varphi_2 - \varphi_1}{d},$$

wobei:

E – Wert der Feldstärke,

d – Abstand zwischen die beiden Platten,

φ_1, φ_2 – Potentiale der beiden Platten.

Das Vozeichen ´-´ zeigt, dass die Intensität immer in der Richtung wo das Potential abnimmt gerichtet ist.

6 Aufgaben

7.1. Berechnen Sie die Anziehungskraft zwischen das Elektron und das Proton im Wasserstoffatom, wenn der mittlere Abstand zwischen beiden Ladungen gleich 5.10^{-11} m ist.

7.2. Berechnen Sie die Intensität und das Potential des elektrischen Feldes in der Mitte zwischen zwei Ladungen, bzw. $q_1 = -3.10^{-8}$ C und $q_2 = 7.10^{-9}$ C. Der Abstand zwischen beiden ist r = 15 cm.

7.3. Berechnen Sie das Verhältnis zwischen die Coulomb-Kraft F_e und die Gravitationskraft K_G für zwei Protonen, die sich im Vakuum befinden.

7.4. Es sei einen rechtwinkligen Dreieck mit gleichen Katheten gegeben. In der Basisspitzen liegen zwei gleiche Ladungen $q_1 = q_2 = 4.\ 10^{-8}$ C. Der Abstand zwischen die beiden ist r = 45 cm. Berechnen Sie das Potential und die Intensität des elektrischen Feldes in der dritten Spitze des Dreiecks.

7.5. Welche Anfangssenergie müsste ein Proton besitzen, um sich bis zum einen anderen Proton auf einen Abstand $r = 1.10^{-15}$ m nähren zu können? Welche Temperatur entspricht diese Energie?

7.6. Eine Kugel mit Masse m = 215 mg, die bis zur Ladung $q_1 = 3.10^{-8}$ C geladen war, ist auf einen Faden aufgehängt. Auf einem Abstand r = 32 cm unter ihr liegt eine andere Kugel. Welche Grösse und welches Zeichen sollte diese Kugel haben, um die anziehende Kraft sich dreifach zu vergrössern.

7.7. Zwischen zwei waagerechten geladenen Platten, auf einem Abstand d = 5 mm voneinander entfernt, befindet sich ein Teilchen mit Ladung $q = 8.10^{-19}$ C. Das Teilchen steht im Gleichgewicht, wenn auf der Platten Potentialdifferenz $\Delta\phi = 60$ V angewandt ist. Berechnen Sie die Masse dieses Teilchens.

7.8. Die Grösse der elektrostatischen Kraft, mit der zwei Punktladungen im Vakuum wechselwirken, ist $1.8 \cdot 10^{-4}$ N. Bestimmen Sie den Abstand zwischen die beiden, wenn die entsprechende Ladungen $q_1 = 1 \cdot 10^{-8}$ C und $q_2 = 2 \cdot 10^{-8}$ C sind.

7.9. Zwei Kugeln mit Masse m = 0,1g jeder sind auf zwei leichten Fäden mit gleichen Längen l = 20 cm aufgehängt. Wenn die Ladungen der Kugeln gleich sind und die beide Fäden unter einem Winkel 60° wegen der elektrostatischen Abstoßung sich entfernen, finden Sie die Ladungen.

7.10. Zwei unbewegliche Punktladungen $Q_1 = 330$ nC und $Q_2 = 132$ nC sind auf einem Abstand r = 12 cm von ein ander entfernt. Wo soll eine dritte Ladung gelegt werden, sodass sie in Gleichgewicht mit den anderen zwei Ladungen sich befinden würde?

§ VIII Elektrischer Strom. Gesetze von Ohm, Joule-Lentz und Kirchhoff.

1 Elektrischer Strom – das ist die gerichtete Bewegung der freien Ladungsträger. In der Mettalle sind Elektronen die Ladungsträger.

$$I = \frac{q}{t}, \left[A = \frac{C}{s}\right]$$

Betrag des elektrischen Stroms – die Ladung die durch den Querschnitt des Leiters für 1 Sekunde geflossen ist. In der Technik wurde es akzeptiert, das die Stromrichtung vom positiven nach negativem Potential ist. Eigentlich bewegen sich die Elektronen in den Metallen vom Minuspol zum Pluspol der Spannungsquelle.

2 Spannung. Elektromotorische Kraft.

2.1 Spannung – das ist die Differenz zwischen die Potentiale zweier Punkte des elektrischen Feldes. Spannungseinheit - Volt.

$$U = \varepsilon + \varphi_1 - \varphi_2, [V]$$

wenn $\varepsilon = 0$, dann $U = \varphi_1 - \varphi_2$.

2.2 Elektromotorische Kraft – die Arbeit der äussenen Kräfte für das Transportieren von einem Ladungsträger zwischen die Polen der Spannungsquelle.

$$\varepsilon = \frac{A}{q}[V]$$

3 Ohmsche Gesetze

3.1 <u>für die Teilspannung:</u>

$$U = I \cdot R$$

Dieses Gesetz ist nur für ein homogenen Teil des Stromkreises gültig, d.h. einer Teil wo keine Strom- oder Spannungsquellen geschaltet sind.

3.2 <u>für einen Stromkreis mit Spannungsquelle:</u>

$$\varepsilon = U_Q + U = I \cdot r + I \cdot R,$$

wo: U_Q – Potentialdifferenz in der Spannungsquelle;

U- Teilspannung;

R – gemeinsamer Widerstand von den im Stromkreis geschalteten Konsumenten;

r- Widerstand der Spannungsquelle.

3.3 Widerstand des Leiters:

$$R = \rho \frac{\ell}{S} [\Omega],$$

wo:

ρ – spezifischer Widerstand des Leiters $[\Omega \cdot m]$;
ℓ – Länge des Leiters;
S – Fläche des Leiterquerschnitts.

3.4 Temperturabhängigkeit von dem Widerstand eines Leiters:

$$R = R_o (1 + \alpha t),$$

R_o – Widerstand des Leiters bei 0°C,

α – Temperaturkoeffizient des Widerstandes [K^{-1}],

t – Temperatur bei der der Widerstand gleich R ist.

4 Gesetz von Joule-Lentz

$$A = P.t = U.I.t = U.q = \frac{U^2}{R} t = I^2 Rt$$ - Arbeit des elektrischen Stroms

Entsprechend das Joule-Lentz Gesetz, ist die Arbeit der elektischen Kräfte gleich die Wärmemenge, die aus dem Leiter für 1 Sekunde wegen des Stromflusses abgeleitet würde.

$$Q = A = P.t = U.I.t$$

5 Kirchhoffsche Gesetze

5.1 Die algebraische Summe der in einem Kreisknoten abfliessenden und zufliessenden Ströme soll gleich 0 sein (Knotenregel):

$$\sum_K I_K = 0$$

5.2 Für einen geschlossenen Stromkreis ist die algebraische Summe der Teilspannungen gleich die Summe der elektromotorischen Kräfte (Maschenregel):

$$\sum_i U_i = \sum_K \varepsilon_K ,$$

wobei: $U_i = I_i R_i$.

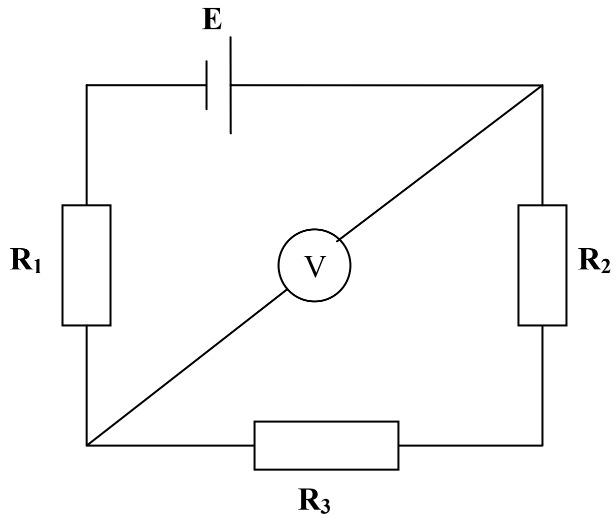
6 Aufgaben

8.1. Berechnen Sie den Widerstand eines Aluminium-Drahtes, wenn er eine Masse m = 100 g und einen Durchmesser d = 15 mm besitzt. Der spezifische Widerstand des Aluminiums ist $\rho = 25.10^{-9}$ Ω.m und die Dichte ist 2700 kg/m^3 bei 20^{o}C.

8.2. Bestimmen Sie den in einen Konsument (R = 10Ω) fliessenden Strom, der zu einer Batterie B geschaltet ist. Die letzte ist aus 10 parallel geschalteten Elementen gebildet, jedes von euch mit elektromotorischen Kraft $\mathcal{E}$ = 1.3 V und Innenwiderstand r = 0.5 Ω.

8.3. Finden Sie den Strom, der in den Motor eines Troleys läuft, wenn die Betriebskraft F = 6000 N bei Spannung U = 750 V ist. Das Troley bewegt sich mit Geschwindigkeit v = 60 km/h bei einem Umwandlungskoefizient ε = 65 %.

8.4. Auf dem Schema sind drei Widerstände dargestellt. (R_1 = 150 Ω, R_2 = 250 Ω, R_3 = 350 Ω). Welche Spannung zeigt der Voltmeter, wenn seiner Widerstand R_v = 5 kΩ ist und die elektromotorische Kraft gleich $\mathcal{E}$ = 100 V ist? Der Innenwiderstand der Batterie könnte gleich Null betrachtet werden.



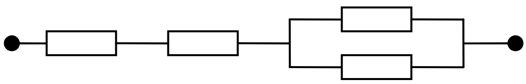
8.5. Der Widerstand eines aus Wolfram ausgefertigten Fadens einer elektrischen Glühbirne ist bei 15 ^{o}C genau R = 25 Ω. Welcher Wert werden die Temperatur und der Widerstand bekommen, wenn durch den Draht I = 400 mA unter Spannung 165 V fliesst? Die Temperaturkoeffizient des Wolframwiderstandes ist $\alpha = 4.8.10^{-3}$ K^{-1}.

8.6. Von einem Wassererhitzer, der zu dem Stadtwasserleitungsystem verbunden ist, wird warmes Wasser mit Temperatur t = 65 ^{o}C und mit Massendebit D = 54 kg/h geschöpft. Bestimmen Sie die elektrische Leistung dieses Erhitzers. Die Wärmekapazität des Wassers bei 25 °C ist $C = 4.187$ kJ/(K.kg).

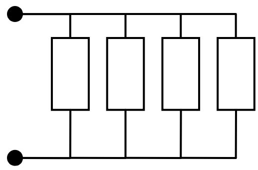
8.7. Ein Leiter aus Fechralloy (Legierung vom Eisen, Chrom und Aluminium) hat Querschnittfläche 0.5 mm^2, Länge 2.5 m und seiner Widerstand beträgt 5.47 Ω. Berechnen Sie den spezifischen elektrischen Widerstand und die Leitfähigkeit des Fechralloys.

8.8. Durch einen Leiter fliesst elektrische Ladung gleich 1800 C für 30 min. Schätzen Sie die Grösse des durch den Leiter durchgeflossenen Strom ab.

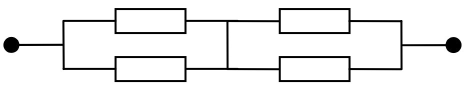
8.9. Vier Widerstände der gleichen Grösse R sind nach vier verschiedenen Arten geschaltet, siehe die Abbildung. Bestimmen Sie den gesamten Widerstand.



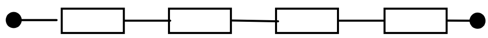
a)



b)



c)



d)

8.10. Drei Leiter mit Widerständen $R_1 = 3$ Ω, $R_2 = 6$ Ω und $R_3 = 8$ Ω sind seriell geschaltet. Wenn die vom ersten Widerstand abgegebene Wärme 21.0 kJ beträgt, berechnen Sie die von dem zweiten, bzw. dritten Widerstand für die gleiche Zeit abgegebene Wärme.

§ IX Magnetfeld im Vakuum. Gesetz von Biot-Savart-Laplace.

1 Magnetisches Feld – jeder Magnet oder Leiter mit fliessendem Strom erzuegt ein magnetisches Feld im Raum. Hauptcharakteristiken des Magnetfeldes sind die magnetische Flussdichte (Induktion) $\vec{B}$ [T] und die Feldstärke $\vec{H}$ [A/m].

2 Gesetz von Biot-Savart-Laplace – beschreibt die magnetische Flussdichte $d\vec{B}$, die an einer Stelle des Raumes $\vec{r}$ durch ein linienförmiges Stromelement $Id\vec{\ell}$ geliefert wird:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_o I}{4\pi}\frac{d\vec{\ell}\times\vec{r}}{r^3}, \qquad \text{oder} \qquad dB = \frac{\mu_o I}{4\pi}\frac{d\ell \sin\alpha}{r^2},$$

wobei:

α – Winkel zwischen die Vektoren $\vec{r}$ und $d\vec{\ell}$,

$\mu_o = 4\pi\cdot 10^{-7}\,H/m$ - magnetische Permeabilität des Vakuums.

Die magnetische Flussdichte $\vec{B}$ des ganzen Leiters wird dann an der entsprechenden Raumstelle eine Vektorsumme aus den elementaren magnetischen Flussdichten $d\vec{B}$ gleich sein.

3 Einige Folgen aus dem Biot-Savart-Laplace Gesetz

3.1 Magnetfeld eines unendlichlangen geraden Drahtes:

$$B = \frac{\mu_o}{2\pi}\frac{I}{d},$$

d – Abstand vom Draht.

3.2 Magnetfeld im Zentrum eines kreisförmigen Leiters:

$$B = \frac{\mu_o}{2}\frac{I}{R}$$

R – Radius des Leiters.

3.3 Magnetfeld eines Punktes auf der Achse des kreisförmigen Leiters der auf einem Abstand b vom Zentrum des Leiters entfernt ist:

$$B = \frac{\mu_o}{2}\frac{R^2 I}{(R^2+b^2)^{\frac{3}{2}}}$$

- Magnetfeld eines unendlichlangen Solenoids:

$$B = \mu_o nI,$$

n –Zahl der Windungen pro 1 Meter.

- Magnetfeld eines bewegten geladenen Teilchens:

$$\vec{B} = \frac{\mu_o}{4\pi} q \frac{\vec{v} \times \vec{r}}{r^3}, \qquad B = \frac{\mu_o}{4\pi} q \frac{v \sin\alpha}{r^2},$$

wo:

q – Ladung des Teilchens,

v – Geschwindigkeit des Teilchens,

r – Abstand zwischen das Teilchen und den entsprechenden Raumpunkt mit magnetischer Flussdichte $\vec{B}$,

α – Winkel zwischen $\vec{v}$ und $\vec{r}$.

4 Aufgaben

9.1. Berechnen Sie die Magnetinduktion B, die von einem Element AB des linearen Leiters im Punkt C erzeugt ist. Durch den Leiter fliesst Strom I = 12 A und der Abstand zwischen die Mitte des Elements AB und Punkt C ist d = 25 mm. Das Element AB ist vom Punkt C unter einem Winkel 90^o angesehen.

9.2. Durch dünnen kreisförmigen Leiter mit Radius R = 15 cm fliesst Strom I = 25 A. Finden Sie die Magnetinduktion B im Punkt A, der sich auf gleichem Abstand r = 30 cm von allen Punkte des Leiters befindet.

9.3. Zwei unendliche Leiter sind in der Luft unter 90^o gekreuzt. Die Ströme, die durch die Leiter fliessen, sind bzw. $I_1 = 22$ A und $I_2 = 34$ A. Berechnen Sie die Magnetinduktion B im Punkt A, der auf gleichem Abstand r = 15 mm von den beiden entfernt ist.

9.4. Finden Sie die magnetische Flussdichte B im Zentrum eines Quadrats, der eine Seite ℓ = 50 cm hat, wenn durch sein Perimeter Strom I = 25 A fliesst.

9.5. Um magnetische Flussdichte B = 2.10^{-3} T zu erzeugen, ist es nötig ein Solenoid mit Länge ℓ= 30 cm zu produzieren. Finden Sie die Zahl der Amperewindungen (nI). Unter welcher Spannung sind diesen, wenn wir Eisendraht mit Durchmesser d = 0.3 mm und einem spezifischen Widerstand $\rho = 0.1.10^{-6}$ Ω.m haben und der Diameter der Spule D = 5 cm ist.

9.6. Bestimmen Sie die maximale magnetische Flussdichte B_{max}, die durch ein Elektron im Punkt A erzeugt wird, wenn seine Geschwindigkeit $v = 10^5$ m/s ist und Punkt A von der Elektronfahrbahn auf einem Abstand d = 5 nm entfernt ist.

9.7. Im Punkt A, der sich auf einem Abstand r = 20 nm von der Fahrbahn eines Elektrons befindet, ist die magnetische Flussdichte $B = 6.10^{-4}$ T. Berechnen Sie die maximale Geschwindigkeit dieses Elektrons.

9.8. Ein Proton bewegt sich geradlinig mit Geschwindigkeit $v = 10^6$ m/s. Berechnen Sie die maximale magnetische Flussdichte des vom Proton erzuegten Feldes im Punkt A, der auf einem Abstand r = 1nm von der Bahn des Protons enfernt ist.

9.9. Solenoid der Länge ℓ = 20 cm hat n = 3000 Windungen und befindet sich im Vakuum. Wenn der durch den Solenoid fliessende Strom I = 3 A ist, bestimmen Sie die magnetische Flussdichte in der Mitte des Solenoids. Der Solenoid wird als unednlich lang betrachtet.

9.10. Bestimmen Sie die von einem unendlich langen geradlinigen Leiter mit Strom auf einem Abstand d = 5 cm erzeugte magnetische Flussdichte. Der Strom durch den Leiter ist I = 10 A.

§ X Amperesches Gesetz. Lorentzkraft. Bewegung geladener Teilchen in Magnetfeld.

1 Amperesches Gesetz – die in homogenem Magnetfeld auf einem geradlinigen Leiter mit Strom I und Länge $d\ell$ wirkende Magnetkraft ist nach dem Ampereschen Gesetz zu bestimmen:

$$\vec{F} = I d\vec{\ell} \times \vec{B}, \quad F = I d\ell B \sin\alpha$$

$\vec{B}$ – Magnetinduktion im Punkt wo der Stromelement $I d\ell$ sich befindet,

α – Winkel zwischen $d\vec{\ell}$ und $\vec{B}$.

Im Falle beliebiges Leiters und inhomogenes Magnetfeldes:

$$d\vec{F} = I(d\vec{\ell} \times \vec{B}) \text{ - vektoriell und } dF = IBd\ell \sin\alpha \text{ - in Skalarform.}$$

2 Die Wechselwirkungkraft zwischen zwei Leiter mit Strömen I_1 und I_2 und Länge ℓ:

$$F = \frac{\mu_o I_1 I_2 \ell}{2\pi d},$$

wobei:

d – Abstand zwischen die Leiter.

3 Moment der auf einer geschlossenen Stromkontur im homogenen Feld wirkenden Kräfte:

$$\vec{M} = \vec{p}_m \times \vec{B}, \qquad M = p_m B \sin\alpha$$

p_m = IS – magnetisches Moment der Kontur,
S – Konturfläche,
I – Stromstärke,
α – Winkel zwischen $\vec{p}_m$ und $\vec{B}$.

Die Richtung von $\vec{p}_m$ ist gleich die Richtung des normalen Vektors der Fläche S.

4 Lorenzkraft – die auf einem im homogenen Magnetfeld bewegten Ladung wirkende Kraft.

$$\vec{F}_L = q\vec{v} \times \vec{B}, \qquad F_L = qvB \sin\alpha$$

q – Ladungsgrösse,
$\vec{v}$ - Ladungsgeschwindigkeit,
$\vec{B}$ - magnetische Flussdichte,
α – Winkel zwischen $\vec{v}$ und $\vec{B}$.

5 Aufgaben

10.1. Ein linearer Leiter mit Länge ℓ = 1 cm befindet sich im homogenen Magnetfeld mit magnetischer Flussdichte B = 0.05 T. Der durchfliessende Strom ist I = 12 A. Berechnen Sie den Winkel α, zwischen den Leiter und die Induktionsrichting, wenn auf den Leiter Kraft F = 15 μN wirkt.

10.2. Zwei lange Leitern befinden sich auf Abstand x_1 = 15 cm voneinander. Durch die Leitern fliessen Ströme I_1 = 25 A, bzw. I_2 = 45 A. Welche Arbeit sollte auf einzelner Länge geleistet werden, um die Leiter auf Abstand x_2 =30 cm zu entfernen.

10.3. Das von Spannung U = 600 V beschleunigte Elektron, erreicht ein homogenes Magnetfeld mit Induktion B = 0.5 T und fängt zu kreisen an. Berechnen Sie den Radius r des Kreises, wenn die Vektoren v und B zueinander senkrecht sind.

10.4. Welches Moment M erhält ein Stromrahmen, (Stromstärke I =10 A), wenn das Rahmen sich im Magnetfeld mit magnetischer Flussdichte B = 0.25 T befindet. Das Stromrahmen hat 100 Windungen mit Fläche $S = 15\ cm^2$ und ihre Normale schliesst ein Winkel $\alpha = 60\,^{o}$ mit der Induktionrichtung.

10.5. Im Magnetfeld mit magnetischer Flussdichte B = 1 T bewegt sich einer mit Länge ℓ = 15 cm und Geschwindigkeit v = 40 cm/s Leiter, durch den Strom I = 5 A fliesst. Der Geschwindigkeitsvektor ist zu der magnetischen Flussdichte senkrecht. Berechnen Sie die für 15 s geleistete Arbeit.

10.6. Ein geradliniger Leiter mit Strom I = 20 A befindet sich unter Winkel 30° bezüglich den Feldlinien in einem magnetischen Feld, das einer magnetische Flussdichte B = 0.05 T hat. Wenn dieses Feld mit einer Kraft gleich 0.5 N auf dem Leiter wirkt, bestimmen Sie die Leiterlänge.

10.7. Geladenes Teilchen wurde zwischen zwei Punkte mit einer potentiellen Differenz $\Delta\varphi$ = 100 V beschleunigt. Das Teilchen bewegt sich senkrecht an der Feldlinien zweier gekreuzten Felder, entsprechend das erste mit Feldstärke E = 200 kV/m und das zweite – mit Induktion B = 0.01 T. Berechnen Sie die spezifische Ladung (q/m) des Teilchens, wenn es sich in die gekreuzten Felder geradlinig bewegt.

10.8. Ein geladenes Teilchen der kinetischen Energie W_k = 10 keV bewegt sich in homogenem magnetischen Feld auf einem kreisförmigen Bahn mit Radius r = 1 mm. Mit welcher Fraft f_m wirkt das Feld auf dem Teilchen?

10.9. α-Teilchen mit kinetischer Energie W_k = 1 MeV bewegt sich senkrecht an der Feldlinien eines Feldes mit der magnetischen Flussdichte B = 1.5 T. Wie gross ist die auf dem Teilchen wirkende Kraft?

10.10. Ein Elektron wurde von potentieller Differenz $\Delta\varphi$ = 300 V beschleunigt und bewegt sich parallel auf Abstand d = 4 mm bezüglich einen geradlinigen unendlich langen Leiters mit Strom I = 5 A. Welche Kraft wirkt auf dem Elektron?

§ XI Magnetische Eigenschaften der Materie.

1 Magnetisierung $\vec{H}_i$ $\left[\frac{A}{m}\right]$ **des Stoffs** – eine Vektorgrösse, die das magnetische Moment pro Einheit Volumen gleich ist:

$$\vec{H}_i = \lim_{\Delta V \to 0} \frac{\sum_{i=1}^{n} \vec{p}_{mi}}{\Delta V},$$

$\vec{p}_m$ – Magnetmoment des Moleküls,

n – Zahl der Moleküle im Volumen ΔV.

2 Magnetisierung isotroper Magnetika:

$$\vec{H}_i = \kappa \vec{H},$$

wobei:
κ – magnetische Suszeptibilität,
$\vec{H}$ - Intensität des Magnetfeldes.

3 Spezifische und molare magnetische Suszeptibilität:

- <u>spezifische Suszeptibilität:</u>

$$\kappa_S = \frac{\kappa}{\rho},$$

ρ – Dichte des Stoffs.

- <u>molare Suszeptibilität:</u>

$$\kappa_m = M \cdot \kappa_S,$$

M – Molargewicht.

4 Zusammenhang unter die Magnetisierung $\vec{H}_i$**, Feldstärke** $\vec{H}$ **und Induktion** $\vec{B}$ **isotroper Magnetika**

$$\vec{H}_i = \frac{\vec{B}}{\mu_o} - \vec{H},$$

oder

$$\vec{B} = \mu_0 \left(\vec{H} + \vec{H}_i\right) = \mu_0 \mu_r \vec{H}$$

wobei**:**

$\mu_r = 1 + \kappa$ - relative magnetische Permeabilität.

5 Bohrschen Magneton μ_B – in μ_B wurden üblich die magnetische Momente der Atome gegeben:

$$\mu_B = \frac{e\hbar}{2m_e},$$

e – Elektronenladung,
$\hbar$ - normierte Plancksche Konstante (Diracsche Konstante auch genannt),
m_e – Elektronenmase.

6 Aufgaben

11.1. Die spezifische Suszeptibilität des Wismuts ist κ_s = - 1.3 10^{-9} m^3/kg. Berechnen Sie die Suszeptibilität κ und die molare Suszeptibilität κ_m des Materials. Die Molarmasse des Wismuts ist M = 209.10^{-3} kg/mol. Die Dichte ist $\rho = 9.8.10^3$ kg/m^3.

11.2. Ein paramagnetischer Block mit Volumen V = 15 cm^3 hat magnetisches Moment P_m = 0.6 $A.m^2$, wenn er im Magnetfeld mit Intensität H = 750 A/m gesteckt wird. Berechnen Sie die magnetische Permeabilität μ des Materials.

11.3. Berechnen Sie das mittlere Magnetmoment P_m des Kupferatoms, wenn die Endmagnetisierung des Cupfers H_i = 1.55 MA/m ist. (Stellen Sie das Resultat in Bohrschen Magnetone μ_B dar).

11.4. Die Intensität des Magnetfeldes ist H = 10^3 A/m und die magnetische Flussdichte im Eisen - B = 1.3 T. Bestimmen Sie die Magnetisirung H_i des Eisens und die relative Permeabilität μ_r.

11.5. Ein zylindrisches aus Kupfer ausgefertigtes Stäbchen mit Länge ℓ = 20 cm und Querschnitt 20 cm^2 befindet sich im Magnetfeld mit der Intensität H = 10^5 A/m. Berechnen Sie :

- die Magnetisierung H_i; - das magnetische Moment P_m; - die magnetische Induktion des inneren Feldes B.

11.6. Im Solenoid mit Lange ℓ = 25 cm und 300 Windungen ist ein Nickelstock gesteckt. Durch den Solenoid fliesst Strom I = 5 A. Berechnen Sie die Magnetisierung des Nickels H_i, wenn die magnetische Flussdichte drin B = 1.3 T ist.

11.7. Durch ein kreisförmigen Leiter mit Radius R = 0.75 m und Diameter d = 1 cm fliesst Strom I = 12 A. Berechnen Sie die Magnetisierung H_i im Zentrum des Kreises, wenn der letzte sich im flüssigen Sauerstoff befindet.

11.8. Eine aus Wismut ausgefertigte Kugel mit Radius R = 10 mm wurde im magnetischen Feld mit Induktion B = $1.5.10^{-5}$ T gesteckt. Bestimmen Sie den Betrag und die Richtung des magnetischen Moments dieser Kugel, wenn die magnetische Suszeptibilität des Wismuts $\kappa = -1.76.10^{-4}$ ist.

11.9. Die Feldstärke des äusseren magnetischen Feldes ist $H = 10^6$ A/m. Finden Sie die Magnetisierung vom Kupfer und die magnetische Flussdichte des im Kupfer induzierten Feldes, wenn die spezifische Suszeptibilität $\kappa_S = -1.1.10^{-9}$ m^3/kg und die Dichte $\rho = 8.93.10^3$ kg/m^3 des Kupfers sind.

11.10. Das magnetische Dipolmoment der Erde ist $P_m = 6.4.10^{21}$ $A.m^2$. Welcher Strom soll durch einem kreisförmigen Leiter, der um die Erde gewickelt ist, fliessen, sodass die Wicklung das gleiche Dipolmoment wie die Erde haben würde?

§ XII Photoelektrischer Effekt. Einstein-Gleichung. Compton-Effekt

1 Photoeffekt – äußerer und innerer

1.1 Äußerer Photoeffekt – entspricht dem Freisetzen der Valenzelektronen des Metalls, wenn diese von elektromagnetischer Strahlung mit geeigneter Wellenlänge getroffen werden.

1.2 Innerer Photoeffekt – durch Photonen mit geeigneter Energie werden die Valenzelektronen eines Festkörpers in ein energetisch höher gelegenes Leitungsband gehoben

2 Hauptgesetze

2.1 Einstein-Gleichung $h\nu = W_{kin}^{max} + A$

wobei:

h **- Plancksche Wirkungsquantum (Plancksche Konstante).** Die **Wirkung** ist eine physikalische Größe mit der Dimension Energie mal Zeit oder Ort mal Impuls, wie ein Drehimpuls,

A – Austrittsarbeit,

W_{kin}^{max} - maximale kinetische Energie, für $h\nu \ll m_o c^2$ - $W_{kin}^{max} = \frac{mv^2}{2}$,

für $h\nu \sim m_o c^2$ - $W_{kin}^{max} = mc^2 - m_o c^2$

$h\nu$ - Energie des Photons;

$m_o c^2$ – Ruheenergie des Elektrons.

2.2 Rote Grenze des Photoeffekts - $\nu_o = A/h$,

Austrittsarbeit A - die Energie, die benötigt wird, um das Elektron aus seiner Hülle zu befördern,

2.3 Zusammenhang Lichtintensität-Photostrom

2.4 anhaltende Spannung – die Spannung zwischen Katode und Anode bei der ist der Photoeffekt unterbrochen:

$$eU_{anhaltende} = W_{kin}^{max}$$

3 Compton-Effekt – elastische Streuung der Röntgen- und γ-Strahlen an freien Elektronen.

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{2h}{m_o c}\sin^2\frac{\theta}{2}$$

λ' - Wellen-Länge nach dem Stoß; λ - Wellen-Länge vor dem Stoß mit dem freien Elektron; θ - Streuungswinkel; c – Lichtgeschwindigkeit im Vakuum; m_o – Ruhemasse des Elektrons.

4 Aufgaben

12.1. Auf Lithium-Oberfläche fällt monochromatisches Licht mit der Wellenlänge $\lambda = 0.5$ µm ein. Um die Ausstrahlung der Elektronen zu bezwingen, muss anhaltende Spannung 1.3 V verwendet werden. Finden Sie die Austrittsarbeit der Elektronen.

12.2. Beim Photoeffekt aus Platin wurde festgestellt, dass die anhaltende Spannung 0.65 V ist. Finden Sie :

- die Wellenlänge des einfallenden Lichtes.
- die rote Grenze des Photoeffektes aus Platin.

12.3. Bestimmen Sie die Planck-Konstante, wenn bekannt ist, dass die Photoelektronen unter folgender Bedingungen angehalten sind :

- bei Bestrahlung mit $\nu = 2.2\ 10^{15}$ Hz, ist die anhaltende Spannung $U = 6.6$ V.
- bei Bestrahlung mit $\nu = 4.6\ 10^{15}$ Hz, ist die anhaltende Spannung $U = 16.5$ V.

12.4. Auf einer Platinplatte fallen UV-Strallen ein. In diesem Falle wäre die anhaltende Spannung 3 V. Welche wäre die Austrittsarbeit, wenn beim Einwechselung der Photokathode die anhaltende Spannung 2 V ist.

12.5. Eine Vakuum Photozelle besitzt Kathode aus Cäsium und Anode aus Kupfer. Berechnen Sie die maximale Geschwindigkeit der Elektronen, die vom Licht mit Wellenlänge $\lambda = 0.25$ µm ausgetreten sind. Die beiden Elektroden sind angeklemmt.

12.6. Wegen des Compton-Effekts ist ein Photon von dem freien Elektron des Stoffs unter Winkel $\theta = 60°$ gestreut. Die Energie des gestreuten Photons ist

E = 0.335 MeV. Bestimmen Sie die Energie des ursprünglichen Photons und die kinetische Energie des Elektrons nach dem elastischen Stoß.

12.7. Finden Sie die ursprüngliche Wellenlänge der Röntgenstrahlung, wenn die maximale kinetische Energie der Compton-Elektronen W_k = 0.18 MeV ist und der Streuwinkel gleich 90° ist.

12.8. Eine ungeladene Metallplatte ist zum einen Elektrometer geschaltet und mit Röntgenstrahlen bestrahlt worden. Nachdem die Platte bis zum einen Potential φ = 125 V geladen ist, wurde der Photoefekt aus der Metallplatte unterbrochen. Wenn die Austrittsarbeit der Photoelektronen unberücksichtigt sein kann, bestimmen Sie an den Röntgenstrahlen entsprechende Wellenlänge.

12.9. Bestimmen Sie die maximale kinetische Energie der aus einem Metall ausgestrahlten Photoelektronen nach der Bestrahlung mit γ-Quanten der Wellenlänge $\lambda = 3.10^{-2}$ nm.

12.10. Berechnen Sie die Photonmasse, die an:

1) rotes Licht mit λ = 590 nm, 2) Röntgenstrahlen mit λ = 0.25 Å und 3) γ-Strahlen mit λ = 1.24 pm entspricht.

§ XIII Bremsstrahlung. Charakteristische Rö-Strahlung. Diffraktion und Absorption der Rö-Strahlen.

1 Rö-Strahlung – der Fluss von hochenergetischen Photonen; kann weich oder hart sein; Bremsstrahlung oder charakteristische Rö-Strahlung.

1.1 Bremsstrahlung – die durch den bremsenden neben die Anode Katodenelektronen ausgestrahlte Röntgen-Quanten. Das **Spektrum der Bremsstrahlung** ist, entsprechend dem Energieerhaltungsgesetz, **ununterbrochen**.

$$W_k = h\nu + A$$
$$0 \le A < W_k$$

Wenn die Arbeit, die für das Aufheizen der Anode A = 0 ist, dann gilt es:

$$h\nu^{max} = eU$$

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

wobei:

$h\nu$ - Energie des Photons der Bremsstrahlung;

A - Arbeit für das Aufheizen der Anode;

W_k - kinetische Energie des Katodenelektrons.

1.2 charakteristische Strahlung – entspricht den aus der Anodenatome ausgestrahlten charakteristischen Rö-Quanten. Das **charakteristische Spektrum** ist **diskret**. Das Moseley Gesetz ist gültig:

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = R \cdot c\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right)(Z-b)^2$$

wobei:

R – Rydberg-Konstante;
c – Lichtgeschwindigkeit im Vakuum;
n_1 – Quantenzahl des Endniveaus;
n_2 – Quantenzahl des Anfangsniveaus;
Z – Ordnungszahl des Anodenmaterials;
b – Abschirmungskonstante.

2 Diffraktion der Röntgenstrahlung (nach Bragg-Wulf).

$$2d\sin\theta = n\lambda$$

d – Gitterkonstante des Kristalls,
θ – Winkel zwischen die Kristallfläche und das Röntgenstrahlenbündel,
λ – Wellenlänge der anfallenden Rö-Strahlung,
n = 1,2,... – Ordnung des Diffraktionmaximums.

3 Absorption der Rö-Strahlung.

$$I = I_o e^{-\mu_\ell d}$$

I – Intensität der Strahlung, die durch einen Schicht mit **Dicke d** durchgegangen ist;

I_o – Anfangsintensität der Rö-Strahlen;

μ_ℓ – linearer Absorptionskoeffizient.

$$\mu_m = \frac{\mu_\ell}{\rho}$$

μ_m – Massenabsorptionskoeffizient;
ρ – Dichte des Materials.

4 Aufgaben

13.1. Bestimmen Sie die minimale Wellenlänge der Bremsstrahlung, die in einem Fernsehrohr bei Beschleunigungsspannung U = 25 kV erhaltet wurde.

13.2. Im Wolfram findet einen Elektronen Übergang zwischen M- und L-Niveaus statt. Wenn die entsprechende Abschirmungskonstante b = 5.5 ist, bestimmen Sie die Wellenlänge der charakteristischen Rö-Strahlung. Die

Ordnungszahl des Wolframs ist $Z = 74$ und die Rydberg-Konstante - $R = 1.097.10^{7} m^{-1}$.

13.3. Berechnen Sie die Intensitätsabnahme der Röntgenstrahlung mit einer Wellenlänge $\lambda = 0.02$ nm, wenn diese Strahlung durch eine Eisenscheibe mit Dicke $\ell = 0.15$ mm durchgeht. Der Massenabsorptionskoeffizient fürs Eisen ist $\mu_m = 1.1\ m^2/kg$.

13.4. Finden Sie die Geschwindigkeit der Elektronen, die auf der Anode eines Röntgenrohrs fallen, wenn die minimale Wellenlänge der Bremsstrahlung $\lambda_{min} = 15.7$ µm ist. Wie gross wäre die Geschwindigkeit, wenn $\lambda_{min} = 300$ nm ist?

13.5. Berechnen Sie die Dicke des absorbierenden Aluminium- und Bleischichts für die die Intensität der Rö-Strahlen mit $\lambda = 0.01$ mm nimmt 2 mal ab. Die lineare Absorptionskoeffizienten für diese Wellenlänge für Al und Pb sind bzw. $\mu_\ell = 0.0433\ mm^{-1}$ und $\mu_\ell = 3.85\ mm^{-1}$.

13.6. Bestimmen Sie die Abschirmungskonstante für die L-Reihe Übergänge, wenn es bekannt ist, dass dem Übergang zwischen die M- und L-Schalen im Wolfram eine charakteristische Wellenlänge $\lambda = 1.41$ Å entspricht.

13.7. Die Gitterkonstante eines Stoffs ist $d = 2{,}1.10^{-10}$ m. Bestimmen Sie die Wellenlänge der anfallenden Röntgenstrahlung, wenn die Diffraktionsmaxima erster Ordnung einem Winkel $\theta = 45°$ entsprechen.

13.8. Unter welchem Winkel θ werden die Rö-Strahlen aus der Kristallfläche sich widerspiegeln, wenn die entsprechende Wellenlänge $\lambda = 0.04$ nm ist und die Gitterkonstante 0.303 nm beträgt.

13.9. Die in einem Röntgenrohr erhaltene Strahlen sollen auf die Flache des Kalzits ($CaCO_3$) mit Gitterkonstante $d = 0.304$ nm unter einem kleinsten Winkel $\theta = 5°$ fallen, um ein Maximum erster Ordnung zu beobachten. Berechnen Sie die beschleunigende Spannung des Röntgenrohrs.

13.10. Die Anode eines Röntgenrohrs ist mit Elektronen der Geschwindigkeit $v = 0.8.10^{8}$ m/s bestrahlt. Bestimmen Sie die maximale Frequenz ν der aus dem Röntgenrohr ausgetsrahlten Bremsröntgenstrahlen.

§ XIV Wärmestrahlung.
Gesetze von Wien und Stefan-Boltzmann

1 Wärmestrahlung – ist eine elektromagnetische Strahlung, die ein Körper abhängig von seiner Temperatur emittiert.

1.1 Schwarzer Körper - er lässt weder Strahlung durch sich hindurch (Transmission), noch spiegelt oder streut er sie zurück (Reflexion).

1.2 Stefan-Boltzmann-Gesetz – das total Emissionsvermögen des schwarzen Körpers ist gleich die Energie, die von Einheit Fläche pro Einheit Zeit in dem ganzen Wellenlängenintervall emitiert wird.

$$E = \sigma T^4$$

E – total Emissionsvermögen,
T – absolute Temperatur,
$\sigma = 5.67.10^{-8}$ W/(m^2.K^4) – Stefan-Boltzmann-Konstante.

1.3 Grauer Körper – das total Emissionsvermögen e ist :

$$e = \varepsilon_T \sigma T^4$$

ε_T - Emissionsgrad.

1.4 Wiensche Verschiebungsgesetz - gibt an, bei welcher Wellenlänge λ_{max} ein strahlender Schwarzen Körper die größte Strahlungsleistung abgibt. Die Wellenlänge maximaler Strahlungsleistung *verschiebt* sich also einfach umgekehrt proportional zur absoluten Temperatur des Schwarzen Strahlers:

$$\lambda_{max} T = b$$

$b = 2.9.10^{-3}$ m.K – Wiensche Verschiebungskonstante.

1.5 maximales Emissionsvermögen bei einer Temperatur T - $E_{max} \sim T^5$ **.**

2 Aufgaben

14.1. Schätzen Sie die Temperatur eines Ofens mit einer runden Öffnung ab. Der Öffnungsradius ist r = 1 cm und für t = 10 s wird Energie W = 400 J ausgesrtahlt. Betrachten Sie die Öffnung als Schwarzer Körper.

14.2. Die Temperatur eines Schwarzen Strahlers ändert sich von T_1 = 1000 K auf T_2 = 3000 K. Berechnen Sie:

- wie viel mal wird sich das total Emissionsvermögen erhöhen;
- die Änderung der Wellenlänge λ_{max} nach dem Wienschen Gesetz;
- wie viel mal wird sich das maximal Emissionsvermögen erhöhen.

14.3. Welcher Temperatur entspricht ein maximales Emissionsvermögen bei λ_{max} = 0.55 µm.

14.4. Aus der Öffnung eines Ofens der Fläche 10 cm^2 wurden 150 kJ für 30 s emittiert. Welchem Bereich des elektromagnetischen Spektrums entspricht die Wellenlänge der ausgestrahlten Energie.

14.5. Die Temperatur eines Ofens ist 1000 K. Schätzen Sie die aus der Öffnung mit einer Fläche 4 cm^2 für 1 s ausgestrahlte Energie ab. Betrachten Sie die Öffnung als Schwarzer Strahler.

14.6. Die Temperatur eines Schwarzen Strahlers nimmt 2 mal zu und deswegen nimmt die an dem Maximum der Austrahlung entsprechende Wellenlänge mit 400 nm ab. Bestimmen Sie die Anfang- und Endtemperatur des Schwarzen Strahlers.

14.7. Bei Änderung der Temperatur eines Schwarzen Strahlers von T_1 auf T_2, nimmt die Fläche von der die Ausstrahlungsvermögen beschreibenden Kurve 81 mal zu. Wie viel mal wird sich die einem maximalen Emissionsvermögen entsprechende Wellenlänge bei dieser Temperaturänderung ändern?

14.8. Bestimmen Sie das total Emissionsvermögen eines Schwarzen Strahlers im Falle, wann das maximal Emissionsvermögen einer Wellenlänge λ = 500 nm entspricht.

14.9. Während des Aufheizens eines Schwarzen Strahlers, ändern sich die auf seinem maximalen Emissionsvermögen entsprechende Wellenlangen von λ_1 = 650 nm auf λ_2 = 550 nm. Wie viel mal wird seines total Emissionsvermögen in dem Falle zunehmen?

14.10. In welchem Bereich des elektromagnetischen Spektrums liegen die auf einem maximalen Emissionsvermögen bei T = 1000 K; 6000 K und 10^7K entsprechende Wellenlängen? Nehmen Sie an, dass es um einen Schwarzen Strahler geht.

§ XV Welleneigenschaften der Teilchen. Unschärferelationen.

1 Welleneigenschaften der Teilchen – Hypothese von De Broglie, Dualität von Welle und Korpuskel. Einem Teilchen mit Impuls p enspricht Wellenlänge λ:

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

h – Wirkungsquantum (Planck-Konstante);
p – Teilchenimpuls.

2 Heisenbergsche Unschärferelationen

- zwischen Impuls und Koordinaten:

$$\Delta p_x \Delta x \geq \hbar$$

$$\Delta p_y \Delta y \geq \hbar$$

$$\Delta p_z \Delta z \geq \hbar$$

Δx , Δy , Δz - Unschärfen der Orten x, y, z;

Δp_x , Δp_y , Δp_z - Unschärfen der Impulskomponenten p_x, p_y, p_z,

$\hbar = \frac{h}{2\pi}$ - die Diracsche Konstante.

- zwischen Energie und Zeit:

$$\Delta E \Delta \tau \geq \hbar$$

ΔE - Unschärfe der Energie des beliebigen erregten Energiezustandes;
$\Delta \tau$ - Lebenszeit des erregten Energiezustandes.

3 Aufgaben

15.1. Berechnen Sie die De Broglie-Wellenlänge für :

a) ein Elektron mit Geschwindigkeit $v = 10^6$ m/s,

b) ein Proton mit der gleichen Geschwindigkeit,

c) ein Teilchen mit Masse $m = 10^{-3}$ kg und Geschwindigkeit $v = 10^2$ m/s.

15.2. Bestimmen Sie die Wellenlänge von De Broglie eines Protons, das sich mit Geschwindigkeit $v = 0.6c$ bewegt.

15.3. Finden Sie die De Broglie-Wellenlänge eines Elektrons, das kinetische Energie 24.5 eV (die Ionisierungsenergie des Heliumatoms) besitzt. Vergleichen Sie deise Wellenlänge mit dem Diameter des Heliumatoms ($d = 2.2.10^{-10}$ m). Sollten die Welleneigenschaften des Elektrons während seiner Bewegung in den Heliumatom betrachtet werden?

15.4. Bei welcher Beschleunigungsspannung ist die Welle von De Broglie eines Protons 10^{-2} Å gleich?

15.5. Bestimmen Sie die Wellenlänge von De Broglie eines Wasserstoffatoms der sich mit Gescwindigkeit gleich seiner mittlerquadratischen Geschwindigkeit bei Temperatur T = 300 K bewegt.

15.6. Ein Elektron bewegt sich im homogenen magnetischen Feld mit magnetischen Flussdichte $B = 8.10^{-3}$ T. Die Bahnkurve des Elektrons ist einen

Kreis mit Radius r = 0.5 m. Berechnen Sie die Wellenlänge von De Broglie für das Elektron.

15.7. Schätzen Sie die Geschwindigkeit und die kinetische Energie eines Elektrons, bzw. Neutrons ab, wenn die De Broglie Wellenlänge immer 10^{-10} m beträgt.

15.8. α-Teilchen bewegt sich in einem homogenen magnetischen Feld der magnetischen Flussdichte B = 0.024 T auf kreisförmige Bahn mit Radius r = 0.83 cm. Welche De Broglie Wellenlänge entspricht diesem Teilchen?

15.9. Vergleichen Sie die De Broglie Wellenlängen des Elektrons, Protons und Heliumatoms, wenn ihre kinetische Energie immer 150 eV gleich ist.

15.10. Wenn die mittlere Lebenszeit des erregten Zustandes von einem Atomkern $t = 10^{-12}$ s ist, bestimmen Sie die Energieunschärfe der von dem Atomkern ausgestrahlten γ-Quanten.

§ XVI Schödingergleichung und Wellenfunktion. Teilchen im Kasten – Quantisierung der Energie. Potential-barrieredurchgehen – Tunneleffekt im Falle Kastenpotentials. Harmonischer Oszillator

1 Schrödingergleichung - die zentrale Gleichung der nichtrelativistischen Quantenmechanik. Diese Gleichung beschreibt die Bewegung eines Mikroteilchens, das ein Impuls $\vec{p}(p_x, p_y, p_z)$ besitzt und in einem Elementarvolumen dV im Moment t lokalisiert ist:

$$i\hbar\frac{\partial\Psi(\vec{r},t)}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m}\Delta\Psi(\vec{r},t) + U(\vec{r},t)\Psi(\vec{r},t)$$

wobei:

$\hbar = \dfrac{h}{2\pi}$ - Diracsche Konstante (h-quer);

m – Teilchenmasse, $m \neq 0$;

$\vec{r}$ (x, y, z) – Ort (Ortsvektor) eines Raumpunktes, der im Elementarvolumen dV enthalten ist;

t – Zeit;

$\Psi(\vec{r},t)$ - Wellenfunktion (Eigenfunktion des Teilchenshamiltonians);

$\Psi(\vec{r},t) = \text{Const.}\exp\left(\frac{i}{\hbar}(\vec{p}\cdot\vec{r} - Et)\right)$ - Wellenfunktion eines freien Teilchens (De Broglie Welle), die eine Ruhemasse unterschiedlich als Null besitzt;

$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$ - Laplace-Operator;

$U(\vec{r},t)$ - potentielle Energie des Teilchens;

$H(\vec{r},t) = -\frac{\hbar^2}{2m}\Delta + U(\vec{r},t)$ - Hamilton-Funktion des Teilchens.

2 Stationäre Schrödingergleichung. Teilchen im Kasten (der eindimensionale Fall). Quantisierung der Energie.

$$\Delta\Psi(x) + \frac{2m}{\hbar^2}(E - U(x))\Psi(x) = 0$$

$$U(x) = \begin{cases} 0, & 0 \le r \le a, \\ \infty, & r < 0, r > a \end{cases};$$

$E_n = \frac{\pi^2\hbar^2}{2ma^2}n^2$ -Energieeigenwerte (quantisierte Werte der Teilchenenergie);
a – Kastenbreite;
n – Hauptquantenzahl, n = 1, 2, 3...;
$\Psi_n(x) = \sqrt{\frac{2}{a}}\sin(\frac{n\pi}{a}x)$ - entsprechend den Randbedingungen ausgewählte Wellenfunktion eines Teilchens in dem eindimensionalen Kasten.

3 Überwinden einer rechteckigen Potentialbarriere – der Tunneleffekt.

$$D = D_o \exp\left(-\frac{2a}{\hbar}\sqrt{2m(U_o - E)}\right)$$

D – Durchlässigkeit der Potentialbarriere (Transmissionskoeffizient der Barriere);
$D_o \approx 1$ - Proporzionalitätskonstante;
a – Barrierebreite;
U_o – Barrierehöhe;
E - Teilchenenergie.

4 Harmonischer Oszillator

$$E_n = \left(n + \frac{1}{2}\right)\hbar\omega$$

E_n – Energieeigenwerte;

n – Hauptquantenzahl, n = 0, 1, 2, 3...;

ω - Kreisfrequenz.

5 Aufgaben

16.1. Ein Elektron der Masse $m = 9.1.10^{-31}$ kg bewegt sich in einem unendlich tiefen rechteckigen Potentialkasten der Breite a = 0.5 nm. Bestimmen Sie den kleinsten möglichen Unterschied ΔE zwischen zwei benachbarten Energieniveaus des Elektrons.

16.2. Berechnen Sie die Energie eines Elektrons im eindimensionalen rechteckigen unendlich tiefen Potentialkasten mit einer Breite $a = 3.10^{-10}$ m, wenn das Elektron aufs Grundniveau (n = 1) sich befindet. Wie viel beträgt diese Energie von der Ruheenergie $m_o c^2$ des Elektrons?

16.3. Finden Sie die Wahrscheinlichkeit, dass ein Teilchen auf Energieniveau mit n = 2 in den zweiten Drittel eines eindimensionalen unendlich tiefen rechteckigen Potentialkastens sich befinden würde.

16.4. Ideal Gas mit Molekülen, jede der Masse $m = 10^{-23}$ g, ist in einem Gefäss mit Abmessungen a = 10 cm geschlossen. Wenn die Bewegung jedes Moleküls als Bewegung im rechteckigen unendlich tiefen Potentialkasten betrachtet kann, dann bestimmen Sie den kleinsten Unterschied zwischen zwei benachbarten Energieniveaus. Sollten die Energieniveaus als diskret in dem Falle betrachtet werden?

16.5. Berechnen Sie die Durchlässigkeit einer Potentialbarriere für das Elektron, wenn 1) Uo –E = 10 eV und $\ell = 10^{-10}$ m; 2) Uo –E =1 eV und $\ell = 10^{-10}$ m.

16.6. Bestimmen Sie die Durchlässigkeit einer Potentialbarriere für das Proton, wenn:

1) Uo –E = 10^{-2} eV und $\ell = 10^{-10}$ m; 2) Uo –E = 1 MeV und $\ell = 2.10^{-15}$ m.

16.7. Bestimmen Sie die Nullpunktsenergie eines Pendels mit Schwingungsdauer T = 1s.

16.8. Berechnen Sie die Energie der Atomschwingungen in einem Kristallgitter bei T = 0 K, wenn die Atome harmonischen Schwingungen mit einer Frequenz $\nu = 10^{12}$ s^{-1} ausüben.

16.9. Nach dem Übergang eines linearen harmonischen Schwingers vom erregten Zustand im Grundzustand, wird Energie gleich kT emittiert. Bestimmen Sie die Hauptquantenzahl n, die dem erregten Zustand entspricht, wenn die an der Frequenz der eigenen Schwingungen entsprechende Periode $\theta = 0.48$ ps ist und die Tempratur 10 K beträgt.

16.10. Wie viel beträgt die Nullpunktsenergie eines Pendels mit Länge $\ell = 0{,}01$ m?

§ XVII Alpha-, Beta- und Gammakernzerfall. Radioaktivität.

1 Hauptcharakteristika des Atomkerns.

1.1 Kernradius: $R = 1.3.10^{-15} A^{\frac{1}{3}}$ [m]

A – Massenzahl (Nukleonenzahl) des chemischen Elements;

1.2 Bindungsenergie eines Kerns: $\Delta E = c^2 \Delta m$

c – Lichtgeschwindigkeit im Vakuum,

Δm - Massendefekt: $\Delta m = \lfloor Zm_p + (A - Z)m_n - m_K \rfloor$

wobei:

Z – Ordnungszahl,
m_p – Protonmasse,
m_n – Neutronmasse,
m_K – Kernmasse.

2 Atomare Masseneinheit - 1/12 der Masse des Kohlenstoff-Isotops ${}^{12}_{6}C$.

Zeichen: **u**, veraltet **amu** (**a**tomic **m**ass **u**nit):

$$1\ u = 1.66.10^{-27}\ kg = 931\ MeV$$

3 Radioaktivität - unter **Radioaktivität** oder **radioaktivem Zerfall** oder **Kernzerfall** versteht man die Eigenschaft instabiler Atomkerne sich spontan unter Energieabgabe umzuwandeln.

3.1 Zerfallgesetz:

$$N(t) = N_o \exp(-\lambda t)$$

$N(t)$ – Zahl der Ausgagngsnuklide im Moment t,

N_o – Zahl der Ausgangsnuklide im Moment t = 0,

λ – Zerfallskonstante,

T =ln2/ λ – Halbwertszeit (die Zeit gebraucht für den Zerfall von $N_o/2$ Atome);

3.2 Aktivität - bezeichnet die Anzahl der Atome N(t) im Präparat zum Zeitpunkt t. Die Aktivität wird definiert als:

$$A(t) = \frac{dN(t)}{dt} = -\lambda N(t) = -\lambda N_o e^{-\lambda t},$$

dN(t) – die Anzahl der Atome, die für Zeit t zerfallen sind,
N(t) – Anzahl der Atome zum Zeitpunkt t.

Bei t = 0 gilt $\left(\frac{dN}{dt}\right)_o = -\lambda N_o$.

4 Aufgaben

17.1. Bestimmen Sie die Masse des Sauerstoffkerns für das Isotop ${}^{16}_{8}O$.

17.2. Finden Sie den Massendefekt für ${}^{4}_{2}He$, ${}^{7}_{3}Li$ und ${}^{238}_{92}U$.

17.3. Berechnen Sie den Kernradius des Isotops ${}^{238}_{92}U$.

17.4. Benutzen Sie die Avogadrosche Zahl um die Masse des neutralen Atoms ${}^{12}_{6}C$ und die atomare Masseneinheit zu bestimmen.

17.5. Schätzen Sie das Verhältnis zwischen die Radien der Kerne ${}^{238}_{92}U$ und ${}^{1}_{1}H$ ab.

17.6. Die erregte Ag^{109} Atome strahlen während des Übergangs im Grundzustand entweder γ-Quanten mit Energie $h\nu$ = 87 keV oder Konversion K-Elektronen mit der Bindungsenergie A = 26 keV aus. Schätzen Sie die Geschwindigkeit dieser Elektronen ein.

17.7. Ein Zähler, der sich in der Nähe eines Behälters mit radioaktiven Silberatome befindet, registriert erst mal 5200 β-Teilchen pro Minute und nach einem Tag – 1300 β-Teilchen pro Minute. Schätzen Sie die Halbwertszeit des Ag-Isotops ab.

17.8. Bestimmen Sie die Bindungsenergie ΔE des Kerns ${}^{11}_{5}B$, sowie auch die mittlere Bindungsenergie $\frac{\Delta E}{A}$ eines Nukleons.

17.9. Wie viel Kerne von ${}^{222}Rn$ zerfallen für einen Tag, wenn es am Anfang 10^6 Kerne gab.

17.10. Die Aktivität eines radioaktiven Stoffs nimmt 2.5 mal für 7 Tage ab. Bestimmen Sie die Halbwertszeit dieses Stoffs.

§ XVIII Festkörperphysik. Fermi-Dirac-Statistik, Fermi-verteilung – Metalle und Halbleiter.

1 Fermi-Verteilung

$$f(E) = \frac{1}{\exp\left(\frac{E-\mu}{kT}\right)+1}$$

f(E) – Fermi-Funktion (druckt die Wahrscheinlichkeit aus, dass ein Fermion eine Energie E bei Temperatur T haben würde);
E – Energie der Teilchen;
μ – Fermi Niveau (chemisches Potential).

2 Dichte der Energiezustände

$$N(E)dE = \frac{4\pi V}{h^3}(2m)^{\frac{3}{2}}\frac{E^{\frac{1}{2}}dE}{\exp\left(\frac{E-\mu}{kT}\right)+1}$$

N(E)dE – Zahl der Teilchen mit Energie von E bis E+dE;
V – Volumen des Metalls;

Bei Temperatur T = 0 K:

$$N(E)dE = \frac{4\pi V}{h^3}(2m)^{\frac{3}{2}}E^{\frac{1}{2}}dE \text{ für } E < \mu$$

und

$$N(E)dE = 0 \text{ für } E > \mu.$$

3 Temperatur Abhängigkeit des chemischen Potentials

$$\mu = E_F\left[1-\frac{\pi^2}{12}\left(\frac{kT}{E_F}\right)^2\right]$$

E_F – Fermi Energie (gleich das Fermi Niveau bei T = 0 K).

4 Gesamte Zahl der freien Elektronen in einem Metall bei T = 0 K

$$N = \frac{8\pi V}{3h^3}(2mE_F)^{\frac{3}{2}}$$

mit E_F – Fermi Energie, die von $E_F = \left(\frac{3n}{8\pi}\right)^{\frac{2}{3}}\frac{h^2}{2m}$ bestimmt werden kann;

$n = \frac{N}{V}$ - Elektronenzahl in Einheit Volumen.

5 Mittlere Energie der freien Elektronen im Metall

$$\overline{E} = \frac{3}{5}E_F\left[1+\frac{5\pi^2}{12}\left(\frac{kT}{E_F}\right)^2\right],$$

bei T = 0 K:

$$\overline{E_0} = \frac{3}{5}E_F = \left(\frac{3n}{8\pi}\right)^{\frac{2}{3}}\frac{3h^2}{10m}$$

6 Fermi Temperatur T_F für die Elektronen – die Temperatur bei der es erfüllt ist:

$$kT_F = E_F\text{, bzw.: } T_F = \frac{E_F}{k}$$

7 Fermi Niveau eines eigenen (intrinsischen) Halbleiters

$$\mu = -\frac{E_g}{2}+\frac{3}{4}kT\frac{m_p}{m_n}$$

E_g – Breite des Bandgaps;

m_n und m_p – effektive Masse des Elektrons, bzw. Lochs, bei T = 0 K:

$$\mu = -\frac{E_g}{2}$$

8 Elektrische Leitfähigkeit eines Halbleiters

$$\sigma = \sigma_n + \sigma_p = e\left(nu_n + pu_p\right)$$

u_n, u_p – Beweglichkeit des Elektrons, bzw. Lochs;

n, p – Konzentration der Elektronen, bzw. Löcher.

9 Temperaturabhängigkeit der intrinsischen Leitfähigkeit eines Halbleiters

$$\sigma = \sigma_0 \exp(-\frac{E_g}{2kT})$$

σ_0 - spezifische Leitfähigkeit bei $T \to \infty$;

E_g – Breite des Bandgaps.

10 Temperaturabhängigkeit der extrinsischen Leitfähigkeit

$$\sigma_{extr} = \sigma_{extr0} \exp(-\frac{E_Z}{2kT})$$

E_Z – Aktivierungsenrgie der Zusätze.

11 Aufgaben

18.1. Bestimmen Sie die Wahrscheinlichkeit mit der ein Elektron des Metalls eine Energie gleich der Fermi Energie besitzen wird.

18.2. Wie viel Elektronen pro Einheit Volumen haben eine Energie zwischen 0.3 und 0.4 eV im Metall bei T = 0 K?

18.3. Wie viel beträgt die maximale Energie der Valenzelektronen im Silber bei T = 0 K, wenn $n = 6.10^{28}$ m^{-3} ist?

18.4. Finden Sie die Konzentration der freien Elektronen in einem Metall bei T = 0 K, wenn die Fermi Energie E_F = 1 eV ist.

18.5. Die Fermi Energie eines Metalls ist E_F = 5 eV. Bestimmen Sie das chemische Potential μ bei T = 300 K.

18.6. Finden Sie die Zahl der freien Elektronen auf einem Natriumatom bei T = 0 K bezoggen, wenn die entsprechenden Fermi Energie E_F = 3.07 eV und Dichte $\rho = 0.97.10^3$ kg/m^3 sind.

18.7. Der spezifische Widerstand des Germaniums ist 0.47 Ω.m bei 27°C. Finden Sie die Konzentration der Ladungsträger bei 27 °C, wenn die Beweglichkeiten der Elektronen und Löcher 0.38 und 0.18 $m^2/(V.s)$ sind.

18.8. Bestimmen Sie die spezifische extrinsische Leitfähigkeit des Germaniums, der als Zusätze Indium und Antimon mit Konzentrationen 2.10^{22} m^{-3}, bzw. 10^{21} m^{-3} enthält. Die entsprechende Beweglichkeiten sind $u_n = 0.38$ und $u_p = 0.18$ $m^2/(V.s)$.

18.9. Finden Sie die Fermi Niveau Energie bei 27 °C für die halbleitende Verbindung InSb, wenn die Bandgap Breite 0.2 eV ist und das Verhältnis zwischen die effektiven Massen der Löcher und Elektronen gleich 20 ist.

18.10. Berechnen Sie das Verhältnis zwischen die extrinsischen Leitfähigkeiten eines Halbleiters bei 300 K und 90 K, wenn das an der Zusätze entsprechende Energieniveau 0.5 eV unterhalb der Leitungsband sich befindet. Die intrinsische Leitfähigkeit kann ignoriert werden.

Anhang – Tabellen

Tabelle 1. Curie-Punke von ausgewählten ferroelektrischen und ferromagnetischen Stoffen.

Stoff	**Curie-Punkt, °C**
Ferroelektrika	
Barium Titanat $BaTiO_3$	100
Seignetsalz	oberer: 24; unterer: - 18
Triglyzinsulfat	49
Blei-Zirkonat-Titanat (PZT)	230-500
$Bi_4Ti_3O_{12}$	675
Ferromagnetika	
Eisen	770
Cobalt	1130
Nikel	358
Permalloy 22%Fe, 78%Ni	550
Magnetit Fe_3O_4	570

Tabelle 2. Festkörperdichten.

Stoff	$\rho, 10^3\ \frac{kg}{m^3}$	**Stoff**	$\rho, 10^3\ \frac{kg}{m^3}$	**Stoff**	$\rho, 10^3\ \frac{kg}{m^3}$
Gips	2.25-2.87	Eisen	7.85	Kork	0.24
Diamant	3.4-3.6	Gold	19.3	Zucker	1.59
Aluminium Bronze	7.7	Kalium	0.86	Blei	11.23-11.44
Aluminium Bronze - gewalzt	2.62-2.8	Quarz	2.65	Schwefel rhombisch	2.07
Aluminium Bronze – chemisch rein	2.58	Konstantan	8.8	Schwefel monoklin	1.96
Asbest	1.2-2.8	Ebonit	1.8	Silber	10.41-10.57
	7.1	Messing	8.3-8.7	Glimmer	2.6-3.2
Bor	2.4	Eis	0.83-0.92	Kochsalz	2.8-2.2
Brom	3.12	Magnesium	1.74	Steinsalz	2.28-2.41
Bronze	8.7	Kupfer	8.6-8.96	Stahl	7.7-8.0
Buche - trocken	0.62-0.83	Marmor	2.52-2.84	Kronglas	2.4-2.6
Papier	0.70-1.15	Natrium	0.97	Flintglas	3.0-5.9
Wismut	9.76-9.93	Salmiak	1.52	Antimon	6.6
Wolfram	1.91	Nikel	8.4-9.2	Weissphosphor	1.8
Wachs	0.95-0.99	Zinn	7.23-7.5	Zink	6.86-7.24
Gips kristallin	2.17-2.31	Paraffin	0.87-0.93	Gusseisen	6.6-7.8
Gips flussig	1.8	Platin	21.2-21.7		

Tabelle3. Gaskonstanten.

Stoff (* Angaben bei 293 K)	Molarmasse, $10^{-3}\,kg/mol$	ρ, kg/m^3	Cp/Cv	η, $10^{-5}\,Pa.s$		K, $10^{-2}\,\frac{W}{K.m}$	
				0°C	20°C	0 °C	20°C
Stickstoff	28.016	1.251	1.74	1.67	1.74	2.43	3.15
Ammoniakdampf	-	0.771	1.34	0.93	0.97	2.18	2.97
Wasserdampf	18.016	0.786	1.324	1.28	1.28	2.35	2.38
Wasserstoff	2.016	0.0899	1.41	0.84	0.88	16.84	21.60
Kohlenstoffoxid	28.01	1.25	1.40	1.67	1.77	2.16	2.75
Kohlenstoffdioxid	44.01	1.977	1.30	1.40	1.45	1.37	1.62*
Luft – trocken	28.96	1.293	1.40	1.72	1.81	2.41	2.57*
Sauerstoff	32.00	1.429	1.385	1.92	2.00	2.44	2.62*
Chlor	70.914	3.22	1.36	1.29	1.32	0.72	-
Helium	4.002	0.1785	1.66	1.89	1.94	14.51	16.70

Tabelle 4. Physikalische Konstanten

Atomare Masseneinheit	**u**	$1.66053886(28).10^{-27}$ kg
Avogadro-Konstante	$\mathbf{N_A}$	$6.0221415(10).10^{23}$ 1/mol
Boltzmann-Konstante	**k**	$1.3806505(24).10^{-23}$ J/K
Drehimpulsquantum	$\hbar$	$1.05457168(18).10^{-34}$ J.s
Elektrische Feldkonstante	ε_o	$8.854187817....10^{-12}$ F/m
Elektronenradius	$\mathbf{r_e}$	$2.817940325(28).10^{-15}$ m
Elementarladung	**e**	$1.60217653(14).10^{-19}$ C
Faraday-Konstante	**F**	$9.64853383(83).10^{4}$ C/mol
Gaskonstante	**R**	8.314472(15) J/(mol.K)
Gravitationskonstante	**G**	6.6742(10).10-11 $N.m^2/kg^2$
Lichtgeschwindigkeit (Vakuum)	**c**	$2.99792458.10^{8}$ m/s
Loschmidt-Konstante	$\mathbf{n_o}$	$2.6867773(47).10^{25}$ $1/m^3$
Magnetische Feldkonstante	μ_o	$1.2566370614....10^{-6}$ H/m
Molares Normvolumen	$\mathbf{V_m}$	$22.413996(39).10^{-3}$ m^3/mol
Normfallbeschleunigung	**g**	9.80665 m/s^2
Planck-Konstante	**h**	$6.6260693(11).10^{-34}$ J.s
Ruhemasse des Elektrons	$\mathbf{m_e}$	$9.1093826(16).10^{-31}$ kg $5.4857990945(24).10^{-4}$ u
Ruhemasse des Neutrons	$\mathbf{m_n}$	$1.67492728(29).10^{-27}$ kg 1.00866491560(55) u
Ruhemasse des Protons	$\mathbf{m_p}$	$1.67262171(29).10^{-27}$ kg 1.00727646688(13) u
Rydberg-Konstante	**R**	$1.0973731568525(73).10^{7}$ 1/m
Stefan-Boltzmann-Konstante	$\boldsymbol{\sigma}$	$5.670400(40).10^{-8}$ $W/(m^2.K^4)$
Wellenwiderstand (Vakuum)	$\mathbf{Z_o}$	376.730313461... Ω
Wien-Konstante	**b**	$2.8977685(51).10^{-3}$ m.K

Die Klammerwerte geben die Standardabweichung der letzten Stellen vor der Klammer an.

Tabelle 5. Basisgrössen des SI.

Basisgrösse	Basiseinheit	
	Name	**Symbol**
Länge	Meter	m
Zeit	Sekunde	s
Masse	Kilogramm	kg
Elektrische Stromstärke	Ampere	A
Temperatur	Kelvin	K
Lichtstärke	Candela	cd
Stoffmenge	Mol	mol

Tabelle 6. Vorsätze von Einheiten – Vielfache und Teile.

Deka	***Hecto***	***Kilo***	***Mega***	***Giga***	***Tera***	***Peta***	***Exa***	***Zetta***	***Yotta***
Da	**h**	**k**	**M**	**G**	**T**	**P**	**E**	**Z**	**Y**
10	10^{2}	10^{3}	10^{6}	10^{9}	10^{12}	10^{15}	10^{18}	10^{21}	10^{24}
10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}	10^{-12}	10^{-15}	10^{-18}	10^{-21}	10^{-24}
d	**c**	**m**	**µ**	**n**	**p**	**f**	**a**	**z**	**y**
Dezi	***Zenti***	***Milli***	***Mikro***	***Nano***	***Piko***	***Femto***	***Atto***	***Zepto***	***Yocto***

Tabelle 7. Wasserdichte bei verschiedenen Temperaturen.

t, °C	ρ, kg/m^3	t, °C	ρ, kg/m^3	t, °C	ρ, kg/m^3
0	999.87	12	999.52	24	997.32
1	999.93	13	999.40	25	997.07
2	999.95	14	999.27	26	996.81
3	999.99	15	999.13	27	996.54
4	1000	16	998.97	28	996.26
5	999.99	17	998.80	29	995.97
6	999.97	18	998.62	30	995.67
7	999.93	19	998.43	31	995.37
8	999.88	20	998.23	32	995.05
9	999.81	21	998.02	33	994.72
10	999.73	22	997.80	34	994.40
11	999.63	23	997.57	35	994.06

Tabelle 8. Spezifischer Widerstand und Temperaturkoeffizient des Widerstandes von einigen Metallen.

Metalle und Legierungen	ρ $10^{-6}\,\Omega.m$	α $10^{-3}\,K^{-1}$	**Metalle und Legierungen**	ρ $10^{-6}\,\Omega.m$	α $10^{-3}\,K^{-1}$
Silber	0.015	4.1	Kobalt	0.056	6.5
Kupfer	0.0155	4.3	Kadmium	0.073	4.2
Gold	0.0204	4.0	Eisen	0.10	5.6
Aluminium	0.024	4.7	Osmium	0.096	4.0
Magnesium I	0.046	-	Paladium	0.109	3.6
Magnesium II	0.038	4.1	Platin	0.098	6.92
Radium	0.037	4.4	Zinn	0.100	4.6
Iridium	0.0458	4.1	Tantal	0.120	3.5
Wolfram	0.0491	4.8	Wismut	0.120	4.4
Molybdän	0.054	4.7	Blei	0.188	4.0
Zink	0.048	4.2	Quecksilber	0.958	0.99
Nikel	0.0605	6.7	Stahl hart	0.45	1.5
Messing	0.08	0.05	Eisen-Legierungen	0.50	0.9
Nikelin	0.40	0.2	Mn-haltiger Stahl (12 %)	0.55	2
Manganin	0.43	0.02			
Konstantan	0.50	0.05	Al-haltiger Stahl (10 %)	1.0	0.35
Stahl weich	0.1-0.25	-			
Koks für Lichtbogenzündung	60	0.2-0.8			

Tabelle 9. Deformationsmodul

Stoff	**Young'scher Modul E, GPa**	**Schubmodul G, GPa**
Aluminium	70	26
Wolfram	380	140
Eisen (Stahl)	200	81
Kupfer	130	40
Blei	16	6
Silber	74	27
Glas	60	30

Tabelle 10. Schallgeschwindigkeit in Festkörpern bei 20 °C (in m/s).

Stoff	**Im Stab**	**Longitudinalwelle**	**Transversalwelle**
Aluminium	5080	6260	3080
Eisen	5170	5850	3230
Gold	2030	3240	1200
Kupfer	3710	4700	2260
Messing	3490	4430	2123
Nikel	4785	5630	2960
Blei	1200	2160	700
Silber	2640	3600	1590
Stahl	5050	6100	-
Zink	3810	4170	2410

Tabelle 11. Mittlerer Durchmesser von Atomen und Molekülen.

Name (Zeichen)	**Mittlerer Durchmesser, 10^{-10} m**
Stickstoff (N_2)	3.7
Argon (Ar)	3.5
Wasserstoff (H_2)	2.7
Sauerstoff (O_2)	3.5
Helium (He)	2.0

Tabelle 12. Spezifische Wärmekapazitäten.

Gase	Cp/Cv	$c_V, \frac{kJ}{kg.K}$
Stickstoff (N_2)	1.40	0.74
Argon (Ar)	1.67	0.32
Wasserdampf (H_2O)	1.82	1.38
Wasserstoff (H_2)	1.41	10.1
Luft	1.40	0.73
Kohlenstoffdioxid (CO_2)	1.30	0.65
Sauerstoff (O_2)	1.40	0.65
Helium (He)	1.63	3.14
Flussigkeiten	$c_V, \frac{kJ}{kg.K}$	
Benzol	1.72	
Wasser	4.19	
Glyzerin	2.43	
Quecksilber	0.138	
Äthanol	2.51	
Festkörper	$c_V, \frac{J}{kg.K}$	
Aluminium	896	
Zinn	230	
Eis	2100	
Kupfer	386	
Eisen	500	
Messing	386	
Blei	126	
Silber	234	
Stahl	460	
Zink	391	

Tabelle 13. Relative Dielektrizitätskonstanten.

Dielektrikum	**Relative Dielektrizitätskonstante ε_r**
Wasser	81
Luft	1.0058
Erdgas	2.0
Ebonit	2.7
Paraffin	2.0
Plexiglas	3.5
Polyäthylen	2.3
Porzellan	6.0
Glimmer	7.5
Äthanol	26
Glas	6.0

Tabelle 14. Spezifischer elektrischer Widerstand ρ und Temperaturkoeffizient des elektrischen Widerstandes α.

Leiter	ρ(bei20°C) $10^{-9}\,\Omega.m$	α $10^{-3}\,K^{-1}$
Aluminium	25	4.5
Wolfram	50	4.8
Graphit	$3.9.10^3$	-0.8
Eisen	90	6.5
Konstantan	$4.8.10^2$	0.02
Kupfer	17	4.3
Nichrom	10^3	0.26
Silber	15	4.1

Tabelle 15. Relative magnetische Permeabilität von Para- und Diamagnetika.

Paramagnetikum	$\mu - 1$, 10^{-6}	**Diamagnetikum**	$\mu - 1$, 10^{-6}
Stickstoff	0.013	Wasserstoff	-0.063
Luft	0.38	Benzol	-7.5
Sauerstoff	1.9	Wasser	-9.0
Aluminium	23	Kupfer	-10.3
Wolfram	176	Steinsalz	-12.6
Platin	360	Quarz	-15.1
Flüssiger Sauerstoff	3400	Wismut	-176

Tabelle 16. Brechzahlen n (Mittelwerte für den sichtbaren Bereich des elektromagnetischen Spektrums).

Stoff	Brechzahl n
Wasser	1.33
Luft	1.00029
Diamant	2.42
Eis	1.31
Schwefelkohlenstoff	1.63
Glas	1.5-1.9

Tabelle 17. Ionisationspotential φ_i von Atomen und Molekülen.

Atom	φ_i, V
Wasserstoff, H	13.5
Helium, He	24.5
Lithium, Li	5.4
Beryllium, Be	9.3
Bor, B	8.3
Kohlenstoff, C	11.3
Stickstoff, N	14.5
Sauerstoff, O	13.6
Fluor, F	17.4
Neon, Ne	21.5
Natrium, Na	5.1
Quecksilber, Hg	10.4

Tabelle 18. Metalle – charakteirstische Grössen.

Metall	Austritts-arbeit A, eV	Fermi-Energie W_F, eV	Kristallgitter		Debye-Temperatur θ_D, K	Schmelz-punkt t_m, °C
			Elementar-zelle	Gitter-konstante a,Å		
Aluminium	4.25	11.8	kfz	4.04	374	658.7
Barium	2.49	-	krz	5.02	116	704
Beryllium	3.92	-	-	-	1000	1278
Blei	4.0	-	kfz	4.94	89	327.5
Cäsium	1.81	1.53	krz	6.10	60	28.5
Eisen	4.31	-	krz	2.86	467	1535
Gold	4.30	5.54	kfz	4.07	180	1063
Kalium	2.22	2.14	krz	5.31	132	62.3
Kobalt	4.41	-	-	-	-	1480
Kupfer	4.40	7.04	kfz	3.61	320	1033
Lithium	2.38	4.72	kfz	3.50	404	186
Magnesium	3.64	-	-	-	-	650
Molybdän	1.3	-	krz	3.14	357	2620
Natrium	2.35	3.12	krz	4.28	226	97.5
Nikel	4.50	-	kfz	3.52	425	1452
Platin	5.32	-	kfz	3.92	212	1775
Silber	4.3	5.51	kfz	4.08	210	960
Titan	3.95	-	-	-	-	1720
Wismut	4.42	-	-	-	-	271
Wolfram	4.54	-	krz	3.16	310	3370
Zink	4.24	11.0	-	-	250	419.4
Zinn	4.38	-	-	-	-	231.9

Tabelle 19. Relative Atommassen von einigen Isotopen.

Ordnungszahl Z	Isotop	Masse	Ordnungszahl Z	Isotop	Masse
0	n	1.00867	6	C^{11}	11.01143
1	H^{1}	1.00783		C^{12}	12.00000
	H^{2}	2.01410		C^{13}	13.00335
	H^{3}	3.01605	7	N^{13}	13.00574
2	He^{3}	4.01603		N^{14}	14.00307
	He^{4}	4.00260		N^{15}	15.00011
3	Li^{6}	6.01513	8	O^{15}	15.00307
	Li^{7}	7.01601		O^{16}	15.99491
4	Be^{7}	7.01693		O^{17}	16.99913
	Be^{8}	8.00531	9	F^{19}	18.99840
	Be^{9}	9.01219	10	Ne^{20}	19.99244
	Be^{10}	10.01354	11	Na^{23}	22.98977
5	B^{10}	10.01294		Na^{24}	23.99097
	B^{11}	11.0930	12	Mg^{24}	23.98504

Tabelle 20. Halbwertszeiten von einigen Isotopen.

Ordnungszahl Z	Isotop	Zerfallsart	Halbwertszeit
12	Magnesium Mg^{21}	β^{-}	10 min = 600 s
15	Phosphor P^{32}	β^{-}	14.3 Tage = $1.24.10^{6}$ s
27	Cobalt Co^{60}	β^{-}, γ	5.3 Jahre = $1.7.10^{8}$ s
38	Strontium Sr^{90}	β^{-}, γ	28 Jahre = $8.85.10^{8}$ s
53	Jod I^{131}	β^{-}, γ	8 Tage = $6.9.10^{5}$ s
77	Iridium Ir^{142}	β^{-}, γ	75 Tage = $6.5.10^{6}$ s
84	Polonium Po^{210}	α	138 Tage = $1.98.10^{7}$ s
86	Radon Rn^{222}	α	3.8 Tage = $3.28.10^{5}$ s
88	Radium Ra^{226}	α, γ	1620 Jahre = $5.12.10^{10}$s
89	Aktinium Ac^{225}	α	10 Tage = $8.64.10^{5}$ s
90	Thorium Th^{229}	α, γ	7.10^{3} Jahre = $2.2.10^{11}$ s
92	Uran U^{238}	α, γ	$4.5.10^{9}$ Jahre= $1.4.10^{17}$s

Aufgaben – Lösungen.

1.1: 10.6 km/h;
1.2: $v_t = 540 m/s$, $\overline{v} = 420 m/s$;
1.3: v = 12m/s, $a_\tau = -1.5 m/s^2$, $a_n = 2.88 m/s^2$, $a = 3.25 m/s^2$;
1.4: 2s;
1.5: t = 75s, s_1= 3093.8m, s_2= 4781.3m;
1.6: $\omega = 150.7 rad/s$, v=753.6m/s, $a_\tau = 0.10 m/s^2$, $a_n = 4542.10 m/s^2$, $a = 4542.10 m/s^2$;
1.7: $\varepsilon = 3.2 rad/s^2$;
1.8: h = 11.0m;
1.9: v_1= 0m/s, v_2= 1m/s, v_3= 0.4tm/s, v_4= (2-6t) m/s, v_5= (-2 + t) m/s;
1.10: 216.7m;

2.1: -0.67 N;
2.2: $a = 0.009 m/s^2$, F = 2.937 N;
2.3: v_2= 8.2 m/s, v_2= -0.2 m/s;
2.4: v = 4.91m/s, s = 1923.12 m;
2.5: 0.8 m;
2.6: $F_1 = 3.08.10^3$ N, $F_2 = 1.6.10^3$ N;
2.7: $F_1 = 11.8.10^3$N, $F_2 = 36.8.10^3$N, $F_3 = 13.2.10^3$N;
2.8: F = $-2.22.10^5$N, s = 900m;
2.9: 583km/h;
2.10: 0.32 m/s;

3.1: A = $2.6.10^6$J, P = 7.2kW;
3.2: P = $1.78.10^4$W, $\overline{P} = 8.89 kW$;
3.3: -13.8 J;
3.4: $P_1 = 1.45.10^5$W, $P_2 = 13.38.10^3$W;
3.5: 2.8;
3.6: $2.06.10^8$W;
3.7: 33.08 J;
3.8: 10.8 m;
3.9: $1.55.10^2$ J;
3.10: 8.76m/s;

4.1: $0.42.10^8$ m/s;
4.2: $1.16.10^{-27}$ kg;
4.3: $1.79.10^6$ V;
4.4: $p_{rel} / p_{klas} = 1.36$;
4.5: $v_{rel} = 1.82.10^8$ m/s, $v_{klass} = 3.2.10^8$ m/s;
4.6: $5.33.10^{-18}$ kg.m/s;
4.7: $0.42.10^8$ m/s;
4.8: $2.83.10^8$ m/s;
4.9: $\rho = 43.28.10^3 kg/m^3$;
4.10: Elektronen – relativistisch, Protonen – klassisch;

5.1: $2.24 m/s^2$;
5.2: 0.51 s;
5.3: v = 270 m/s, v_{max} = 0.942 m/s;

5.4: 1.06 rad; 5.5: $m = 8.10^{-5}$ kg, $W_k = W_p$ bei $x = A/2$; 5.6: 22.3 rad; 5.7: 0.8 J; 5.8: $x(t) = 0.06\cos(15.7t + \frac{\pi}{4})$ m; 5.9: $F_{max} = 1.97.10^{-4}$ N, $W = 9.86.10^{-6}$ J; 5.10: $\nu = 0.45\text{Hz}$, $W = 2.16.10^{-2}$ J, $A = 0.04$ m;
6.1: 329 K; 6.2: $1.03.10^{-3}$ kg/mol; 6.3: 1.3 kg/m^3; 6.4: $W = 3.43.10^{-21}$ J, $v_q = 1524$ m/s; 6.5: $3.7.10^{-4}$ g; 6.6: $1.81.10^{5}$ Pa; 6.7: 0.75 kg/m^3; 6.8: $2.09.10^{5}$ Pa; 6.9: 72 kg; 6.10: $p_2/p_1 = 1.05$
7.1: $9.2.10^{-8}$ N; 7.2: $E = 2.4.10^{3}$ V/m, $\varphi = 2.76.10^{3}$ V; 7.3: $F_{el}/F_{grav} = 1.2.10^{36}$; 7.4: $E = 7.1.10^{3}$ V/m, $\varphi = 2.3.10^{3}$ V; 7.5: $W_k = 2.3.10^{-13}$ J, $T = 1.11.10^{10}$ K; 7.6: $- 2.4.10^{-6}$ C; 7.7: $9.8.10^{-16}$ kg; 7.8: $9.997.10^{-2}$ m; 7.9: $5.4.10^{-8}$ C; 7.10: $4.95.10^{-8}$ C;
8.1: $2.97.10^{-5}$ Ω; 8.2: 0.013A; 8.3: 205 A; 8.4: 78.13 V; 8.5: $t_1 = 3477$ °C, $R_1 = 412.5$ Ω; 8.6: $2.51.10^{3}$W; 8.7: $\sigma = 9.14.10^{5}$ S / m 8.8: 1A; 8.9: a) 5R/2, b) R/4, c) R, d) 4R; 8.10: $Q_2 = 4.2.10^{4}$ J, $Q_3 = 5.6.10^{4}$ J;
9.1: $6.8.10^{-5}$T; 9.2: $9.36.10^{-6}$ T; 9.3: $5.4.10^{-4}$ T; 9.4: $5.65.10^{-5}$T; 9.5: $nI = 5.3.10^{3}$ Amperewindungen, $U = 2.4$ V; 9.6: $6.4.10^{-5}$ T; 9.7: $1.5.10^{7}$ m/s; 9.8: $1.6.10^{-2}$ T; 9.9: $2.3.10^{-3}$ T; 9.10: 4.10^{-5} T;

10.1: 0.14 rad; 10.2: $1.6.10^{-4}$ J; 10.3: $1.16.10^{-12}$ N; 10.4: 0.32 N.m; 10.5: 4.5 J; 10.6: 1m; 10.7: 2.10^{12} C/kg; 10.8: $3.2.10^{-12}$ N; 10.9: $3.5.10^{-11}$N; 10.10: $1.64.10^{-11}$ N;
11.1: $\kappa_m = -2.7.10^{-10} m^3 / mol, \kappa = -1.3.10^{-4}$; 11.2: $6.8.10^{-5}$ H/m; 11.3: $p_m/\mu_\beta = 1.97$; 11.4: $H_i = 1.04.10^6$ A/m, $\mu_r = 8.3.10^8$; 11.5: $H_i = -9.8.10^{-1}$A/m, $P_m = -3.9.10^{-4}$A.m^2, B = 0.13 T; 11.6: $H_i = 1.04.10^6$A/m; 11.7: $H_i = 1.52.10^{-5}$A/m; 11.8: - $8.8.10^{-9}$ A.m^2; 11.9: H_i = -9.82 A/m, B = -$1.3.10^{-10}$ T; 11.10: 5.10^7 A;
12.1: $1.89.10^{-19}$ J; 12.2: $\lambda = 2.08.10^{-7}$ m, $\lambda o = 2.33.10^{-7}$ m 12.3: $6.6.10^{-34}$ J.s; 12.4: $10.1.10^{-19}$J; 12.5: $4.98.10^5$ m/s; 12.6: E = $1.97.10^{-12}$ J, $W_k = 1.93.10^{-12}$ J; 12.7: 3.05 pm; 12.8: $9.93.10^{-9}$ m; 12.9: $6.62.10^{-15}$ J; 12.10: m_1=$3.74.10^{-36}$kg, m_2=$8.83.10^{-32}$kg, m_3=$1.78.10^{-30}$ kg;
13.1: $7.94.10^{-11}$ m; 13.2: $1.41.10^{-11}$ m; 13.3: I/Io = 0.27; 13.4: v = $1.67.10^5$ m/s, $v_1 = 1.21.10^6$ m/s; 13.5: $d_{Al} = 1.6.10^{-2}$ m, $d_{Pb} = 1.8.10^{-4}$ m; 13.6: 5.5; 13.7: $2.97.10^{-10}$ m; 13.8: 3.78°; 13.9: $2.34.10^4$ V; 13.10: $4.64.10^{18}$ s^{-1};
14.1: 1224 K; 14.2: $E_2/E_1 = 81$, $\Delta\lambda_{max} = 1.93.10^{-6}$ m, $E^{max}_{\lambda,T2} / E^{max}_{\lambda,T1} = 243$; 14.3: 5273 K; 14.4: $9.46.10^{-7}$ m; 14.5: 22.68 J; 14.6: T_1 = 3625 K, T_2 = 7250 K; 14.7: λ_{max} nimmt 3 mal ab; 14.8: $6.42.10^7$ W/m^2; 14.9: E_2/E_1 = 1.95; 14.10: $2.9.10^{-6}$ m, 483.10^{-9} m, $2.9.10^{-9}$ m;
15.1: $\lambda_e = 7.2710^{-9}$ m, $\lambda_p = 3.96.10^{-13}$ m, $\lambda_m = 6.62.10^{-33}$ m;

15.2: $1.76.10^{-15}$ m;
15.3: $2.47.10^{-10}$ m, Welleneigenschaften – positiv;
15.4: 820 V;
15.5: $4.6.10^{-9}$ m;
15.6: $1.03.10^{-12}$ m;
15.7: e: $7.27.10^{6}$m/s, $2.4.10^{-17}$J; n: $3.94.10^{3}$ m/s, $1.3.10^{-20}$J;
15.8: $1.04.10^{-11}$ m;
15.9: $\lambda_e = 1.0.10^{-10}$ m, $\lambda_p = 2.34.10^{-12}$ m, $\lambda_{He} = 1.23.10^{-12}$ m;
15.10: $1.05.10^{-22}$ J;

16.1: $7.17.10^{-19}$ J;
16.2: $W_1 = 6.64.10^{-19}$J, $W_1/W_o = 8.12.10^{-6}$;
16.3: 0.195;
16.4: $5.44.10^{-40}$ J, indiskret;
16.5: 0.039, 0.358;
16.6: 0.012, 0.415;
16.7: $3.31.10^{-34}$ J;
16.8: $3.31.10^{-22}$ J;
16.9: $1.65.10^{-33}$ J;
16.10: n = 1;

17.1: $m_{{}^{16}_{8}O} = 2.658.10^{-26}\,kg$;
17.2: $\Delta m_{{}^{4}_{2}He} = 0.0426.10^{-27}\,kg$, $\Delta m_{{}^{7}_{3}Li} = 0.0629.10^{-27}\,kg$, $\Delta m_{{}^{238}_{92}U} = 2.9814.10^{-27}\,kg$;
17.3: $8.06.10^{-15}$ m;
17.4: amu = $1.66.10^{-27}$ kg, $m_{{}^{12}_{6}C} = 1.9934.10^{-27}\,kg$;
17.5: $R_U/R_H = 6.2$;
17.6: $1.28.10^{8}$ m/s;
17.7: 11.8 h;
17.8: $\Delta E = 3.42.10^{-20}\,J$, $\Delta E / A = 3.11.10^{-21}\,J$;
17.9: $8.3.10^{5}$ Nuklide;
17.10: 5.3 d;

18.1: 0.5;
18.2: $4.3.10^{24}$ Elektronen;
18.3: $8.95.10^{-19}$ J;
18.4: $n = 4.54.10^{27}$ m^{-3};
18.5: 4.9999 eV;
18.6: 0.98 Elektronen pro Natriumatom;
18.7: $n = 2.4.10^{19}$ m^{-3};
18.8: 639 S/m;
18.9: $0.46.10^{-19}$ J;
18.10: $6.2.10^{9}$ mal.

Empfohlene Literatur

1. Physikalische Aufgaben für die Studenten der Universität für Chemische Technologie und Metallurgie, **Lehrstuhl Physik**, Verlag Martilen, 2007 (auf Bulgarisch).
2. Physik, Beispiele und Aufgaben, **H. Stroppe, P. Streitenberger, E. Specht, J. Zeitler, H. Langer,** Fachbuchverlag Leipzig, 2000, online verfügbar unter http://www.phys4u.de/.
3. Physikalische Aufgaben und Methoden ihrer Lösung, **V.A. Balasch,** Verlag Proswestenie, Moskau, 1974 (auf Russisch).
4. Physikalische Aufgaben für Olympiaden, **G. Zadorozhnii**, Verlag Prosweta, Sofia, 1976 (auf Bulgarisch).
5. Physikalische Aufgaben, **S. Damianaov, K. Kazandzhiev, T. Dimchev, V. Buriev**, Verlag Nauka i Izkustwo, Sofia, 1987 (auf Bulgarisch).
6. Physikalische Aufgaben, **D.I. Saharov, I.S. Kossminkov**, Verlag Uchpedgiz, 1952 (auf Russisch).
7. Aufgaben zur Physik I, **Übungsaufgaben der Universität Köln ohne Lösugen,** 2002, online verfügbar unter http://www.thp.uni-koeln.de/StudentInfo/SkripteUebungen/uebungen_p1.html.
8. Aufgaben zur Physik II, **Übungsaufgaben der Universität Köln ohne Lösugen,** 2002, online verfügbar unter http://www.thp.uni-koeln.de/StudentInfo/SkripteUebungen/uebungen_p2.html.
9. Physik, **H. Niedrig**, Springer Verlag, Berlin-Heidelberg, 1992.
10. Physikalische Aufgaben zu dem physikalischen Kurs mit Lösungen, **T. I. Trofimova, Z. G. Pavlova**, Verlag Vyissschaya Schkola, Moskau, 1999 (auf Russisch).
11. Physikalischer Kurs – Aufgaben und Lösungen, **T. I. Trofimova, A. V. Firsov,** Verlag Akademia, Moskau, 2004 (auf Russisch).