

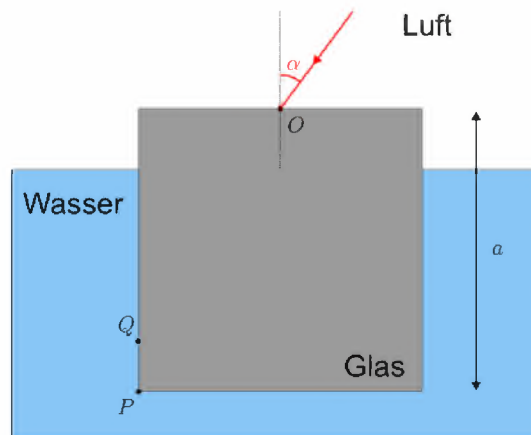
QUESTIONNAIRE

Date :	23.09.24	Horaire :	08:15 - 10:45	Durée :	150 minutes
Discipline :	PHYSI	Type :	écrit	Section(s) :	GIG
					Numéro du candidat :

Legende: T: Theorie A: Aufgabe P: Praktikum

1. Brechung und Totalreflexion (15 Punkte)

- 1.1 Leiten Sie, ausgehend von dem Prinzip von Fermat, das Brechungsgesetz her. Fügen Sie der Herleitung eine ausführliche Skizze hinzu. (T: 6P)
- 1.2 Erklären Sie, was man unter dem Phänomen der Totalreflexion versteht. Unter welchen Bedingungen tritt Totalreflexion auf? (T: 1P)
- 1.3 Ein Lichtstrahl trifft aus Luft ($n_L = 1,00$) auf einen Würfel aus Kronglas ($n_G = 1,52$), der fast vollständig in Wasser ($n_W = 1,33$) eingetaucht ist (siehe Figur). Der Lichtstrahl trifft dabei stets im Mittelpunkt O der oberen Kante auf, der Einfallswinkel α kann jedoch verändert werden. Die Kantenlänge a des Würfels beträgt 4,0 cm.

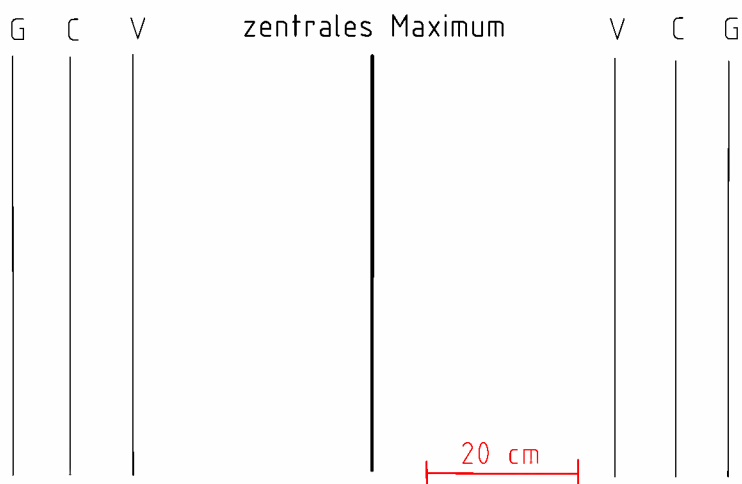


- 1.3.1 Der gebrochene Lichtstrahl soll am unteren linken Eckpunkt P (siehe Figur) auftreffen. Berechnen Sie den Einfallswinkel α_1 im Punkt O. (A: 2P)
- 1.3.2 Der gebrochene Lichtstrahl soll an der linken Kante im Punkt Q so auftreffen, dass gerade noch Totalreflexion entsteht. Berechnen Sie den maximalen Einfallswinkel α_2 im Punkt O. Beachten Sie: die Lage des Punktes Q ist in der Figur nur qualitativ eingezeichnet und entspricht nicht der exakten Lage. (A: 2P)
- 1.3.3 Berechnen Sie den Abstand vom Punkt Q zum Punkt P. (A: 2P)
- 1.3.4 Das Wasser wird jetzt entfernt, so dass der Glaswürfel von allen Seiten von Luft umgeben ist. Begründen Sie, ob am Punkt Q immer noch Totalreflexion auftritt, wenn der Lichtstrahl wiederum im Punkt O unter dem in 1.3.2 berechneten Winkel α_2 in den Glaswürfel eintritt. (A: 2P)

2. Spektren von Lichtquellen

(16 Punkte)

- 2.1 Ausgehend von der allgemeinen Bedingung für konstruktive Interferenz, leiten Sie die Formel für die Beugungswinkel α_k her, unter denen sich am Gitter die Hauptmaxima k -ter Ordnung bilden. Fügen Sie den Erläuterungen eine Figur mit einem Vierfachspalt hinzu, in der alle Elementarwellen dargestellt sind, die in 1. Ordnung konstruktiv interferieren. (T: 2P)
- 2.2 Diskutieren Sie, anhand der Ergebnisse zu der Frage 2.1, wie sich beim Beugungsgitter der Streifenabstand mit der Gitterkonstanten und mit der Wellenlänge ändert. (T: 2P)
- 2.3 Das Licht einer Quecksilberdampf Lampe wird durch ein Gitter (570 Spalte pro mm) spektral zerlegt. Der Abstand zwischen Gitter und Schirm beträgt 1,40 m. Es wird das sichtbare Spektrum der Quecksilberdampf Lampe von 405 nm bis 579 nm betrachtet.
- 2.3.1 Fertigen Sie eine beschriftete Zeichnung des Versuchsaufbaus für die Herstellung dieses Spektrums an. (P: 2P)
- 2.3.2 Folgende Figur gibt drei Spektrallinien mit den Farben Violett (V), Cyan (C) und Gelb (G) in der ersten Beugungsordnung wieder. Messen Sie jeweils die gegenseitigen Abstände $2d$ zwischen den Spektrallinien gleicher Farbe und bestimmen Sie daraus den Abstand d . Fassen Sie ihre Messungen in einer Tabelle zusammen. (P: 3P)



- 2.3.3 Geben Sie die Formel zur Bestimmung des Beugungswinkels erster Ordnung durch die Messwerte an. Geben Sie die Formel zur anschließenden Bestimmung der Wellenlänge an. Erweitern Sie die vorige Tabelle mit den entsprechenden Beugungswinkeln und Wellenlängen. (P: 3P)
- 2.3.4 Die Wellenlänge der violetten Spektrallinie beträgt 405 nm und die Wellenlänge der gelben Spektrallinie beträgt 579 nm. Bestimmen Sie die relative Messungenauigkeit für die beiden Linien. (P: 2P)
- 2.3.5 Inwiefern würde sich das Spektrum der Quecksilberdampf Lampe vom vorigen Spektrum unterscheiden, wenn das Gitter durch ein Prisma ersetzt wird? (A: 2P)

3. Relativitätstheorie

(12 Punkte)

- 3.1 Leiten Sie den Ausdruck für die relativistische Zeitdilatation anhand des Gedankenexperiments der Lichtuhr her. Der Aufbau der Lichtuhr kann dabei als bekannt vorausgesetzt werden. Argumentieren Sie zuerst rein qualitativ bevor Sie den quantitativen Ausdruck herleiten. (T: 6P)
- 3.2 Ein Beobachter hält eine Lampe auf einen Spiegel gerichtet, der sich mit der Geschwindigkeit v auf ihn zu bewegt. Bestimmen Sie die Geschwindigkeit des reflektierten Lichts relativ zum Beobachter unter der Annahme, dass sich das Licht im Vakuum bewegt. (A: 1P)
- 3.3 Kann ein Teilchen, dessen Ruhemasse von Null verschieden ist, durch die Wirkung einer Kraft auf Lichtgeschwindigkeit beschleunigt werden? Begründen Sie. (A: 2P)
- 3.4 In ferner Zukunft fliegt ein intergalaktisches Raumschiff von der Erde zu einem Planeten, der von der Erde genau ein Lichtjahr entfernt ist. Berechnen Sie mit wie viel Prozent der Lichtgeschwindigkeit das Raumschiff fliegen muss, so dass für die Astronauten an Bord des Raumschiffs der Flug genau ein Jahr dauert. (A: 3P)

4. Radioaktivität

(7 Punkte)

- 4.1 Während eines Kernwaffentests im Mai 1976 gelangte radioaktiver Staub in die obere Erdatmosphäre. Durch atmosphärische Strömungen hat sich der radioaktive Staub über die ganze Erde verbreitet. Eines der dabei entstandenen radioaktiven Nuklide ist Sr-90. Berechnen Sie welcher Bruchteil des beim Kernwaffentest entstandenen Sr-90 noch im Mai 2024 übrigbleibt. Die Halbwertszeit von Sr-90 beträgt 29 Jahre. (A: 2P)
- 4.2 Das Isotop U-238 zerfällt mit einer Halbwertszeit von 4,47 Milliarden Jahren. Nach mehreren Etappen entsteht das stabile Bleiisotop Pb-206. Obwohl der Zerfall in mehreren Etappen geschieht, so hat der erste Zerfall die weitaus größte Halbwertszeit. Man kann daher annehmen, dass der Zerfall von U-238 direkt zu Pb-206 geschieht. In einem Gestein befinden sich 6,30 mg an U-238 und 3,18 mg an Pb-206. Es wird angenommen, dass bei der Entstehung kein Blei im Gestein vorhanden war, so dass die gesamte Menge am heute vorhandenen Pb-206 durch den Zerfall von U-238 entstanden ist.
- 4.2.1 Berechnen Sie wie viele Atome U-238 das Gestein heute enthält. (A: 1P)
- 4.2.2 Berechnen Sie wie viele Atome Pb-206 das Gestein heute enthält. (A: 1P)
- 4.2.3 Berechnen Sie wie viele Atome U-238 das Gestein bei der Entstehung enthielt. (A: 1P)
- 4.2.4 Bestimmen Sie daraus das Alter des Gesteins. (A: 2P)

5. Photoeffekt und Gegenfeldmethode (10 Punkte)

Eine Vakuum-Photozelle wird mit monochromatischem Licht bestrahlt, dessen Frequenz über der Grenzfrequenz liegt. Über die Gegenelektrode, an die unterschiedliche Spannungen angelegt werden können, kann die Bewegung der aus der Photoschicht herausgeschlagenen Elektronen und somit die Stromstärke des Photostroms beeinflusst werden.

5.1 Skizzieren Sie in einem Diagramm die Stromstärke in Abhängigkeit von der angelegten Spannung für zwei unterschiedliche Beleuchtungsstärken. (T: 2P)

5.2 Begründen Sie, warum ein Photostrom fließt, wenn die anliegende Spannung Null ist. (T: 1P)

5.3 Begründen Sie, warum es bei positiv anliegender Spannung zu einer Sättigung kommt, wenn die Spannung groß genug ist. (T: 1P)

5.4 Erklären Sie den Verlauf der Stromstärke bei einer negativ anliegenden Spannung. (T: 2P)

5.5 Zur experimentellen Bestimmung der Austrittsarbeit und der Planck-Konstante wird die Vakuum-Photozelle nacheinander mit 2 unterschiedlichen Spektrallinien einer Helium-Lampe bestrahlt. Die Ergebnisse des Experiments sind in folgender Tabelle zusammengefasst:

Wellenlänge λ (nm)	Gegenspannung U_G (V)
667,8	0,82
492,1	1,47

Bestimmen Sie aus diesen Ergebnissen die Planck-Konstante h sowie die Austrittsarbeit W_A des Materials der Photokathode. (A: 4P)

Physikalische Konstanten

Physikalische Konstante	Symbol	Wert	Einheit
Avogadro-Konstante	N_A	$6,022 \cdot 10^{23}$	mol^{-1}
Elementarladung	e	$1,602 \cdot 10^{-19}$	C
Lichtgeschwindigkeit (*)	c	$2,998 \cdot 10^8$	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
Planck-Konstante	h	$6,626 \cdot 10^{-34}$	J · s
Elektrische Feldkonstante	ϵ_0	$8,854 \cdot 10^{-12}$	$\text{C} \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$
Ruhemasse des Elektrons	m_e	$9,109 \cdot 10^{-31}$	kg
		$= 0,5110$	MeV / c^2
Ruhemasse des Protons	m_p	$1,673 \cdot 10^{-27}$	kg
		$= 938,3$	MeV / c^2
Ruhemasse des Neutrons	m_n	$1,675 \cdot 10^{-27}$	kg
		$= 939,6$	MeV / c^2
Ruhemasse des α -Teilchens	m_α	$6,645 \cdot 10^{-27}$	kg
		$= 3,727 \cdot 10^3$	MeV / c^2

Umwandlung von Einheiten außerhalb des SI-Systems

Atomare Masseneinheit	1 u	$1,6605 \cdot 10^{-27}$	kg
Elektronvolt	1 eV	$1,602 \cdot 10^{-19}$	J
Jahr	1 a	365,25	d (Tage)

(*) **Bemerkung:** Für die Lichtgeschwindigkeit kann in den Rechnungen der Wert $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ verwendet werden.

Formelsammlung Trigonometrie

$\sin^2 x + \cos^2 x = 1$	$\tan x = \frac{\sin x}{\cos x}$	
$\cos^2 x = \frac{1}{1 + \tan^2 x}$	$\sin^2 x = \frac{\tan^2 x}{1 + \tan^2 x}$	$1 + \tan^2 x = \frac{1}{\cos^2 x}$
$\sin(-x) = -\sin(x)$	$\sin(\pi - x) = \sin(x)$	$\sin(\pi + x) = -\sin(x)$
$\cos(-x) = \cos(x)$	$\cos(\pi - x) = -\cos(x)$	$\cos(\pi + x) = -\cos(x)$
$\tan(-x) = -\tan(x)$	$\tan(\pi - x) = -\tan(x)$	$\tan(\pi + x) = \tan(x)$
$\sin\left(\frac{\pi}{2} - x\right) = \cos(x)$		$\sin\left(\frac{\pi}{2} + x\right) = \cos(x)$
$\cos\left(\frac{\pi}{2} - x\right) = \sin(x)$		$\cos\left(\frac{\pi}{2} + x\right) = -\sin(x)$
$\tan\left(\frac{\pi}{2} - x\right) = \cot(x)$		$\tan\left(\frac{\pi}{2} + x\right) = -\cot(x)$
$\sin(x + y) = \sin x \cos y + \cos x \sin y$		$\tan(x + y) = \frac{\tan x + \tan y}{1 - \tan x \tan y}$
$\sin(x - y) = \sin x \cos y - \cos x \sin y$		
$\cos(x + y) = \cos x \cos y - \sin x \sin y$		$\tan(x - y) = \frac{\tan x - \tan y}{1 + \tan x \tan y}$
$\cos(x - y) = \cos x \cos y + \sin x \sin y$		
$\sin 2x = 2 \sin x \cos x$		$2 \cos^2 x = 1 + \cos 2x$
$\cos 2x = \cos^2 x - \sin^2 x$		$2 \sin^2 x = 1 - \cos 2x$
$\sin 2x = \frac{2 \tan x}{1 + \tan^2 x}$	$\cos 2x = \frac{1 - \tan^2 x}{1 + \tan^2 x}$	$\tan 2x = \frac{2 \tan x}{1 - \tan^2 x}$
$\sin 3x = 3 \sin x - 4 \sin^3 x$		$\cos 3x = -3 \cos x + 4 \cos^3 x$
$\sin x + \sin y = 2 \sin\left(\frac{x+y}{2}\right) \cos\left(\frac{x-y}{2}\right)$		$\tan x + \tan y = \frac{\sin(x+y)}{\cos x \cos y}$
$\sin x - \sin y = 2 \sin\left(\frac{x-y}{2}\right) \cos\left(\frac{x+y}{2}\right)$		$\tan x - \tan y = \frac{\sin(x-y)}{\cos x \cos y}$
$\cos x + \cos y = 2 \cos\left(\frac{x+y}{2}\right) \cos\left(\frac{x-y}{2}\right)$		
$\cos x - \cos y = -2 \sin\left(\frac{x+y}{2}\right) \sin\left(\frac{x-y}{2}\right)$		
$\sin x \cos y = \frac{1}{2} [\sin(x+y) + \sin(x-y)]$		
$\cos x \cos y = \frac{1}{2} [\cos(x+y) + \cos(x-y)]$		
$\sin x \sin y = \frac{1}{2} [\cos(x-y) - \cos(x+y)]$		

Z		Element	Élément
1	H	Wasserstoff	Hydrogène
2	He	Helium	Hélium
3	Li	Lithium	Lithium
4	Be	Beryllium	Béryllium
5	B	Bor	Bore
6	C	Kohlenstoff	Carbone
7	N	Stickstoff	Azote
8	O	Sauerstoff	Oxygène
9	F	Fluor	Fluor
10	Ne	Neon	Néon
11	Na	Natrium	Sodium
12	Mg	Magnesium	Magnésium
13	Al	Aluminium	Aluminium
14	Si	Silizium	Silicium
15	P	Phosphor	Phosphore
16	S	Schwefel	Soufre
17	Cl	Chlor	Chlore
18	Ar	Argon	Argon
19	K	Kalium	Potassium
20	Ca	Kalzium	Calcium
21	Sc	Scandium	Scandium
22	Ti	Titan	Titane
23	V	Vanadium	Vanadium
24	Cr	Chrom	Chrome
25	Mn	Mangan	Manganèse
26	Fe	Eisen	Fer
27	Co	Kobalt	Cobalt
28	Ni	Nickel	Nickel
29	Cu	Kupfer	Cuivre
30	Zn	Zink	Zinc
31	Ga	Gallium	Gallium
32	Ge	Germanium	Germanium
33	As	Arsen	Arsenic
34	Se	Selen	Sélénium
35	Br	Brom	Brome
36	Kr	Krypton	Krypton
37	Rb	Rubidium	Rubidium
38	Sr	Strontium	Strontium
39	Y	Yttrium	Yttrium
40	Zr	Zirkonium	Zirkonium
41	Nb	Niob	Niobium
42	Mo	Molybdän	Molybdène
43	Tc	Technetium	Technétium
44	Ru	Ruthenium	Ruthénium
45	Rh	Rhodium	Rhodium
46	Pd	Palladium	Palladium
47	Ag	Silber	Argent
48	Cd	Kadmium	Cadmium
49	In	Indium	Indium
50	Sn	Zinn	Étain
51	Sb	Antimon	Antimoine
52	Te	Tellur	Tellure
53	I	Jod	Iode
54	Xe	Xenon	Xénon
55	Cs	Cäsium	Césium

Z		Element	Élément
56	Ba	Barium	Baryum
57	La	Lanthan	Lanthane
58	Ce	Cer	Cérium
59	Pr	Praseodym	Praséodyme
60	Nd	Neodym	Néodyme
61	Pm	Promethium	Prométhium
62	Sm	Samarium	Samarium
63	Eu	Europium	Europium
64	Gd	Gadolinium	Gadolinium
65	Tb	Terbium	Terbium
66	Dy	Dysprosium	Dysprosium
67	Ho	Holmium	Holmium
68	Er	Erbium	Erbium
69	Tm	Thulium	Thulium
70	Yb	Ytterbium	Ytterbium
71	Lu	Lutetium	Lutécium
72	Hf	Hafnium	Hafnium
73	Ta	Tantal	Tantale
74	W	Wolfram	Tungstène
75	Re	Rhenium	Rhénium
76	Os	Osmium	Osmium
77	Ir	Iridium	Iridium
78	Pt	Platin	Platine
79	Au	Gold	Or
80	Hg	Quecksilber	Mercure
81	Tl	Thallium	Thallium
82	Pb	Blei	Plomb
83	Bi	Bismut	Bismuth
84	Po	Polonium	Polonium
85	At	Astat	Astate
86	Rn	Radon	Radon
87	Fr	Francium	Francium
88	Ra	Radium	Radium
89	Ac	Actinium	Actinium
90	Th	Thorium	Thorium
91	Pa	Protactinium	Protactinium
92	U	Uran	Uranium
93	Np	Neptunium	Neptunium
94	Pu	Plutonium	Plutonium
95	Am	Americium	Américium
96	Cm	Curium	Curium
97	Bk	Berkelium	Berkélium
98	Cf	Californium	Californium
99	Es	Einsteinium	Einsteinium
100	Fm	Fermium	Fermium
101	Md	Mendelevium	Mendélévium
102	No	Nobelium	Nobélium
103	Lr	Lawrencium	Lawrencium
104	Rf	Rutherfordium	Rutherfordium
105	Db	Dubnium	Dubnium
106	Sg	Seaborgium	Seaborgium
107	Bh	Bohrium	Bohrium
108	Hs	Hassium	Hassium
109	Mt	Meitnerium	Meitnérium