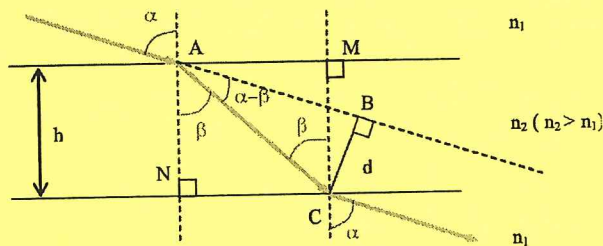


1 Planparallele Platte (10 P.)

(2 P)

1.1



1.2

(4 P)

Brechungsgesetz in A:

$$n_1 \cdot \sin \alpha = n_2 \cdot \sin \beta$$

Durch die Symmetrie des Problems befinden sich in C die gleichen Winkel wie in A. Also erhält man auch hier das Brechungsgesetz:

$$n_2 \cdot \sin \beta = n_1 \cdot \sin \alpha$$

Der Lichtstrahl, welcher aus der Platte austritt, ist parallel mit dem einfallenden Lichtstrahl.

Im Dreieck ABC ist die seitliche Verschiebung:

$$d = BC = AC \cdot \sin(\alpha - \beta)$$

$$d = AC \cdot \sin(\alpha - \beta) \tag{1}$$

Wir können die Dicke h der Platte einführen. Im Dreieck ACN:

$$h = AN = AC \cdot \cos \beta$$

$$\Rightarrow AC = \frac{h}{\cos \beta} \tag{2}$$

(2) in (1) ergibt:

$$\Rightarrow d = \frac{h \cdot \sin(\alpha - \beta)}{\cos \beta}$$



1.3

(4 P)

Mit Hilfe der trigonometrischen Formel  
 $\sin(x - y) = \sin(x) \cdot \cos(y) - \cos(x) \cdot \sin(y)$   
 lässt sich die Formel der Parallelverschiebung verändern:

$$d = \frac{h \cdot \sin(\alpha - \beta)}{\cos \beta} = h \cdot \frac{\sin \alpha \cdot \cos \beta - \cos \alpha \cdot \sin \beta}{\cos \beta}$$

$$d = h \cdot \left( \sin \alpha - \frac{\cos \alpha \cdot \sin \beta}{\cos \beta} \right)$$

Des weiteren gilt die trigonometrische Formel  
 $\sin^2(x) + \cos^2(x) = 1 \Rightarrow \cos(x) = \sqrt{1 - \sin^2(x)}$

Dadurch:

$$d = h \cdot \left( \sin \alpha - \frac{\cos \alpha \cdot \sin \beta}{\sqrt{1 - \sin^2 \beta}} \right)$$

Für die Brechung gilt:  $n_1 \cdot \sin \alpha = n_2 \cdot \sin \beta$

$$\Rightarrow \sin \alpha = \frac{n_2}{n_1} \cdot \sin \beta \Rightarrow \sin \alpha = n_{1,2} \cdot \sin \beta$$

$$\Rightarrow \sin \beta = \frac{\sin \alpha}{n_{1,2}}$$

Dadurch erhält man für die Parallelverschiebung:

$$d = h \cdot \left( \sin \alpha - \frac{\cos \alpha \cdot \frac{\sin \alpha}{n_{1,2}}}{\sqrt{1 - \frac{\sin^2 \alpha}{n_{1,2}^2}}} \right) = h \cdot \left( \sin \alpha - \frac{\cos \alpha \cdot \sin \alpha}{\sqrt{n_{1,2}^2 - \sin^2 \alpha}} \right)$$



2 Bikonvexe Linse (8 P.)

Parameter	1. Fall	2. Fall
Gegenstandsweite	$g_1$ (unbekannt)	$g_2 = g_1 + 5 \text{ cm}$
Gegenstandsgröße	$G_1 = G = 4 \text{ cm}$	$G_2 = G = 4 \text{ cm}$
Bildweite	$b_1$ (unbekannt) mit $b_1 < 0$	$b_2$ (unbekannt) mit $b_2 > 0$
Bildgröße	$B_1 = -10 \text{ cm}$	$B_2 = 8 \text{ cm}$
Abbildungsmaßstab	$\frac{B_1}{G} = \frac{b_1}{g_1} = -2,5$ $\Leftrightarrow b_1 = -2,5g_1$	$\frac{B_2}{G} = \frac{b_2}{g_2} = 2$ $\Leftrightarrow b_2 = 2g_2$
Abbildungsgleichung	$\frac{1}{f} = \frac{1}{b_1} + \frac{1}{g_1}$ $\Leftrightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{-2,5g_1} + \frac{1}{g_1}$ $\Leftrightarrow \frac{1}{f} = \left(-\frac{1}{2,5} + 1\right) \frac{1}{g_1}$ $\Leftrightarrow \frac{1}{f} = 0,6 \frac{1}{g_1}$ $\Leftrightarrow f = \frac{5}{3} g_1$	$\frac{1}{f} = \frac{1}{b_2} + \frac{1}{g_2}$ $\Leftrightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{2g_2} + \frac{1}{g_2}$ $\Leftrightarrow \frac{1}{f} = \left(\frac{1}{2} + 1\right) \frac{1}{g_2}$ $\Leftrightarrow \frac{1}{f} = \frac{3}{2} \frac{1}{g_2}$ $\Leftrightarrow f = \frac{2}{3} g_2$
Gegenstandsweite Fall 1		$\Leftrightarrow \frac{5}{3} g_1 = \frac{2}{3} g_2$ $\Leftrightarrow 5g_1 = 2g_2$ $\Leftrightarrow 5g_1 = 2(g_1 + 5 \text{ cm})$ $\Leftrightarrow 5g_1 = 2g_1 + 10 \text{ cm}$ $\Leftrightarrow 3g_1 = 10 \text{ cm}$ $\Leftrightarrow g_1 = \frac{10}{3} \text{ cm} = 3,33 \text{ cm}$
Gegenstandsweite Fall 2		$g_2 = g_1 + 5 \text{ cm}$ $\Leftrightarrow g_2 = \frac{10}{3} \text{ cm} + 5 \text{ cm}$ $\Leftrightarrow g_2 = \frac{25}{3} \text{ cm} = 8,33 \text{ cm}$
Brennweite		$f = \frac{5}{3} g_1$ $\Leftrightarrow f = \frac{5}{3} \cdot \frac{10}{3} \text{ cm} = 5,56 \text{ cm}$
Bildweite Fall 1		$b_1 = -2,5g_1$ $\Leftrightarrow b_1 = -2,5 \cdot 3,33 \text{ cm} = -8,33 \text{ cm}$
Bildweite Fall 2		$b_2 = 2g_2$ $\Leftrightarrow b_2 = 2 \cdot 8,33 \text{ cm} = 16,7 \text{ cm}$



### 3 Beschleunigtes Proton (9 P.)

3.1 (6 P)

Änderung der kinetischen Energie des Protons = Arbeit der elektrostatischen Kraft:

$$\Delta E_{kin} = E_{kinEnd} - E_{kinAnf} = m_0 c^2 (\gamma - 1) - 0 = m_0 c^2 \left( \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} - 1 \right) = W(\vec{F}_{el.}) = qU = eU$$

Lösen nach v:

$$v = \sqrt{1 - \frac{1}{\left(\frac{eU}{m_0 c^2} + 1\right)^2}} \cdot c = \sqrt{1 - \frac{1}{\left(\frac{1,602 \cdot 10^{-19} \cdot 5,6 \cdot 10^9}{1,672 \cdot 10^{-27} \cdot (3 \cdot 10^8)^2} + 1\right)^2}} \cdot c = 0,9896c$$

3.2 (3 P)

Ruheenergie des Protons:  $E_0 = m_0 c^2 = 1,672 \cdot 10^{-27} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 \text{ J} = 1,505 \cdot 10^{-10} \text{ J}$

kinetische Energie:  $E_{kin} = 5,6 \text{ GeV} = 5,6 \cdot 10^9 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 8,971 \cdot 10^{-10} \text{ J}$

Gesamtenergie des Protons:  $E = E_0 + E_{kin} = 1,048 \cdot 10^{-9} \text{ J}$

und

$$\frac{E_{kin}}{E} = \frac{8,971 \cdot 10^{-10} \text{ J}}{1,048 \cdot 10^{-9} \text{ J}} = 0,856 = 85,6\%$$

$$\frac{E_0}{E} = \frac{1,505 \cdot 10^{-10} \text{ J}}{1,048 \cdot 10^{-9} \text{ J}} = 0,144 = 14,4\%$$

### 4 Photozelle (6 P.)

4.1 (2 P)

- $h$ : plancksches Wirkungsquantum
- $f_G$ : Grenzfrequenz
- $\lambda_G$ : Grenzwellenlänge
- $W_A$ : gesuchte Austrittsarbeit

$$hf_G = W_A \Leftrightarrow h \cdot \frac{c}{\lambda_G} = W_A$$

$$\Leftrightarrow W_A = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{582 \cdot 10^{-9}} \text{ J} = 3,415 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 2,13 \text{ eV}$$

4.2 (4 P)

Feststellung:  $\lambda < \lambda_G$ . Blaues Licht kann den Photoeffekt bewirken.

Auf die Photokathode trifft pro Sekunde die Energie  $E = P \cdot t = 2 \text{ W} \cdot 1 \text{ s} = 2 \text{ J}$ . Die Energie eines einzelnen Photons beträgt

$$E_p = h \cdot f = \frac{h \cdot c}{\lambda} = \frac{6,624 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{420 \cdot 10^{-9}} \text{ J} = 4,733 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Die Anzahl  $N$  der pro Sekunde auftreffenden Photonen entspricht dementsprechend

$$N = \frac{E}{E_p} = \frac{2 \text{ J}}{4,733 \cdot 10^{-19} \text{ J}} = 4,226 \cdot 10^{18}$$

Da jedes Photon exakt ein Elektron aus der Kathode lösen kann, werden pro Sekunde auch  $N = 4,226 \cdot 10^{18}$  Elektronen freigesetzt, welche zum Kathodenstrom beitragen.





Der Strom  $I$  entspricht der pro Sekunde transportierten elektrischen Ladung  $Q$ , wobei die transportierte elektrische Ladung dem Produkt aus der Anzahl der Elektronen  $N$  mal Elementarladung  $e$  entspricht:

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{N \cdot |e|}{t} = \frac{4,226 \cdot 10^{18} \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}}{1 \text{ s}} = 0,677 \text{ A}$$

## 5 Interferenz am Gitter (8 P.)

### 5.1

Wenn in einer bestimmten Richtung (Beugungswinkel  $\alpha$ ) der Gangunterschied  $\Delta s$  zwischen zwei Wellenzügen aus benachbarten Spalten gleich einer ganzen Zahl von Wellenlängen ist, so ergibt sich konstruktive Interferenz :

$$\Delta s = k\lambda \Rightarrow g \cdot \sin \alpha_k = k\lambda \text{ das heißt } \boxed{\sin \alpha_k = \frac{k\lambda}{g}} \quad (k \in \mathbb{Z})$$

### 5.2

Je größer die Anzahl der Spalte wird, umso schmaler (schärfer) und höher (intensiver) werden die Hauptmaxima (Intensitätsmaxima, d.h. die Helligkeit), und umso kleiner und schmaler werden die Nebenmaxima.

### 5.3

Die unter 5.1 angegebene Formel zeigt, dass der Sinus des Beugungswinkels proportional zur Wellenlänge des verwendeten Lichts ist. Wenn die Wellenlänge des Lichts vergrößert wird, dann vergrößert sich dementsprechend der Sinus des Beugungswinkels und somit auch der Beugungswinkel. Wenn die Wellenlänge verkleinert wird, verkleinert sich der Beugungswinkel. Daraus kann man schlussfolgern, dass bei Licht kleiner Wellenlänge (z.B violett) die Hauptmaxima im Beugungsbild näher beieinander liegen als bei Licht großer Wellenlänge (z.B rot).

### 5.4

Das verwendete Gitter besitzt 300 Striche pro Millimeter, somit entspricht die Gitterkonstante  $g = \frac{1}{300} \text{ mm} = 0,003333 \text{ mm} = 3,333 \cdot 10^{-6} \text{ m}$

Es gilt  $\sin \varphi_k = \frac{k\lambda}{g}$ , wobei  $k$  der Ordnungszahl entspricht. Die Bedingung ist nur solange gültig, wie  $-1 \leq \sin \varphi_k \leq 1$ . Da die Beugung symmetrisch in Bezug zu  $\varphi = 0$  erfolgt, kann man das Problem lösen, indem man die Gleichung  $\sin \varphi_k = 1$  in Bezug zu  $k$  löst, und somit den Fall untersucht, wo der Beugungswinkel  $90^\circ$  entspricht, was in der Tat, dem maximal möglichen Beugungswinkel entspricht.

$$\sin \varphi_k = \frac{k\lambda}{g} = 1 \Leftrightarrow k = \frac{g}{\lambda} = \frac{3,333 \cdot 10^{-6} \text{ m}}{589,3 \cdot 10^{-9} \text{ m}} = 5,66$$

Da  $k$  ganzzahlig sein muss, kann man in diesem Fall bis zur 5. Ordnung abbilden.

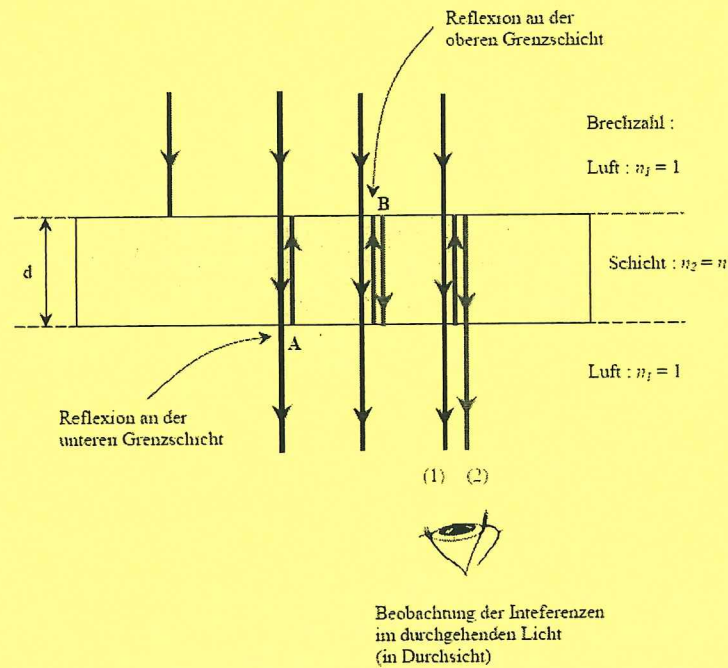


6 Dünne Schichten (7 P.)

6.1

(5 P)

Beobachtung im durchgehenden Licht (in Durchsicht):



Der Lichtstrahl (2) wird in den Punkten A und B der Schicht reflektiert, der Lichtstrahl (1) wird nicht reflektiert.

Der geometrische Wegunterschied zwischen beiden Strahlen bei senkrechtem Lichteinfall beträgt hier ebenfalls :

$$\Delta s_{geom} = 2 \cdot d$$

Der optische Wegunterschied zwischen den beiden Strahlen beträgt :

$$\Delta s_{opt} = 2 \cdot d \cdot n_2$$

Weil die Reflexionen des Lichtes in den Punkten A und B jedes Mal am optisch dünneren Medium erfolgen, entsteht in diesem Fall kein Phasensprung! Der Gangunterschied ist also gleich:

$$\Delta s_g = \Delta s_{opt} = 2 \cdot d \cdot n_2$$

Diskussion:

- Destruktive Interferenz im durchgehenden Licht (in Durchsicht):

$$\Delta s_g = (2k + 1) \cdot \frac{\lambda}{2} \quad (k \in \mathbb{N})$$

$$\Rightarrow 2 \cdot d_k \cdot n = (2k + 1) \cdot \frac{\lambda}{2}$$

$$\text{d.h. } d_k = \frac{(2k + 1) \cdot \lambda}{4 \cdot n} \quad k \in \mathbb{N}$$





6.2

Es gilt für die Dicke  $d$  der Seifenlamelle in den gegebenen Bedingungen:  $d_k = \frac{(2k+1)\lambda}{4n}$  (2 P)

Die Dicke  $d$  ist minimal, wenn  $k = 0$ .

Dann gilt:  $d_0 = \frac{\lambda}{4n} = \frac{589,3 \text{ nm}}{4 \cdot 1,33} = 111 \text{ nm}$

## 7 Praktikum Kernphysik (12 P.)

7.1

(6 P)

Zur Bestimmung der Zählrate  $z$  (= gezählte Impulse pro Sekunde) wird die folgende Formel benutzt:

$$z = \frac{\Delta Z}{\Delta t} - z_H$$

wobei  $\Delta Z$  die während dem Zeitintervall  $\Delta t$  gezählten Impulse sind.

Die von der Hintergrundstrahlung verursachte Nullrate  $z_H$ , das heißt die von der Hintergrundstrahlung verursachten Impulse pro Sekunde werden bestimmt durch:

$$z_H = \frac{Z_H}{t} = \frac{24 \text{ Imp.}}{60 \text{ s}} = 0,4 \frac{\text{Imp.}}{\text{s}}$$

Die Nullrate wird von der Zählrate abgezogen.

Die auf diese Weise berechnete Zählrate entspricht der mittleren Zählrate des jeweiligen Zeitintervalls, wobei sich der Zeitpunkt  $t$  in der Mitte des Intervalls befindet. Es gelten daher die folgenden Formeln:

$$\Delta Z = Z_n - Z_{n-1}$$

$$\Delta t = t_n - t_{n-1}$$

$$t = \frac{t_n + t_{n-1}}{2}$$

wobei  $n$  dem Index der Messung entspricht (Messungsstart:  $n = 0$ , 1. Messung:  $n = 1$ , 2. Messung:  $n = 2$ , etc.).

Die so gemessene Impulsrate  $z$  ist proportional zur Aktivität  $A$  des Präparats. In der Tat hängt das Verhältnis von Zählrate und Aktivität, bei gegebener Versuchsanordnung nur von den Eigenschaften und der räumlichen Anordnung des Zählrohrs ab. Der zeitliche Verlauf der Zählrate  $z(t)$  gibt daher auch Aufschluss über den zeitlichen Verlauf der Aktivität  $A(t)$ .



*[Handwritten signature]*

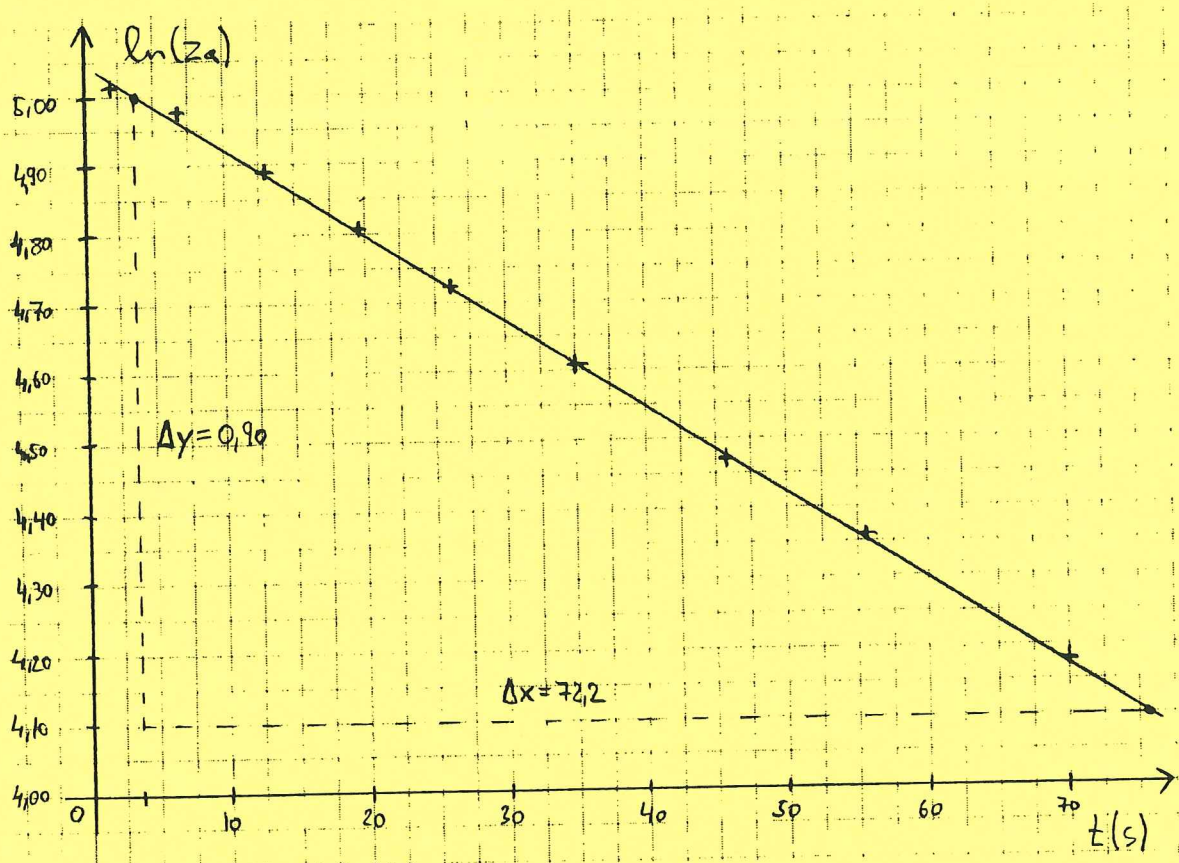
Erweiterte Messwertetabelle:

$t_n$ (s)	Z	$\Delta Z$	$\Delta t$ (s)	t (s)	z (s <sup>-1</sup> )	ln z
0	0	-	-	-	-	-
4	610	610	4	2	152,1	5,02
10	1480	870	6	7	144,6	4,97
16	2280	800	6	13	132,9	4,89
23	3145	865	7	19,5	123,2	4,81
30	3940	795	7	26,5	113,2	4,73
40	4950	1010	10	35	100,6	4,61
52	6000	1050	12	46	87,1	4,47
60	6630	630	8	56	78,4	4,36
80	7940	1310	20	70	65,1	4,18

7.2

(6 P)

Graphische Darstellung ln z(t)





Um die Halbwertszeit des verwendeten Radionuklids zu bestimmen, kann man zur Auswertung den natürlichen Logarithmus der Zählrate  $\ln(z)$  berechnen und diesen in Abhängigkeit von  $t$  graphisch darstellen. Man kann schreiben:

$$z(t) = z_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

$$\Leftrightarrow \ln z(t) = \ln(z_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t})$$

$$\Leftrightarrow \ln z(t) = \ln(z_0) + \ln(e^{-\lambda \cdot t})$$

$$\Leftrightarrow \ln z(t) = -\lambda \cdot t + \ln(z_0)$$

Im  $\ln z(t)$ -Diagramm entspricht die graphische Darstellung einer abfallenden Gerade mit der Steigung  $\lambda$  und dem Achsenabschnitt  $\ln(z_0)$ , wobei  $z_0$  der Zählrate zum Zeitpunkt  $t_0$  entspricht.

Die Radioaktive Zerfallskonstante kann aus der Steigung der Gerade bestimmt werden.

Sie beträgt  $\lambda = -\frac{\Delta y}{\Delta x} = -\frac{0,90}{72,2 \text{ s}} = 0,0125 \text{ s}^{-1}$ .

Daher beträgt die gesuchte Halbwertszeit :

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{\ln 2}{1,25 \cdot 10^{-2} \text{ s}^{-1}} = 55,5 \text{ s}$$

