

---

# Probeklausur zur Experimentalphysik 3

Prof. Dr. L. Oberauer  
Wintersemester 2010/2011  
7. Januar 2011

---

## Aufgabe 1 (12 Punkte)

Eine transversale elektromagnetische Welle im Vakuum sei zirkular polarisiert:

$$\vec{E}(\vec{r}, t) = E_0 [\cos(kz - \omega t) \vec{e}_x + \sin(kz - \omega t) \vec{e}_y],$$

und breite sich in  $z$ -Richtung aus. Berechnen Sie für diese Welle

- a) die magnetische Induktion  $\vec{B}(\vec{r}, t)$ ,
- b) den Poynting-Vektor  $\vec{S}(\vec{r}, t)$ ,
- c) den Strahlungsdruck auf eine um den Winkel  $\theta$  gegen die Ausbreitungsrichtung ( $\vec{k} = k\vec{e}_z$ ) geneigte, total absorbierende Ebene.

## Aufgabe 2 (7 Punkte)

Die Gruppengeschwindigkeit von elektromagnetischen Wellen in einem Medium mit Brechungsindex  $n$  ist durch

$$v_g = \frac{c}{n + \omega \frac{dn}{d\omega}}$$

gegeben.  $c$  ist die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum,  $\omega$  ist die Winkelgeschwindigkeit der Wellen; der Brechungsindex ist gegeben durch  $n = c \frac{k}{\omega}$ .

Ein Pulsar ist ein schnell rotierender Neutronenstern, der sehr klare Pulse über einen großen Teil des Radiospektrums aussendet. Diese durchqueren geradlinig das interstellare Medium, bis sie die Erde erreichen. Beobachtungen zeigen, dass die Ankunftszeit eines Pulses bei 400 MHz um 700 ms verglichen mit einem Puls bei 1400 MHz verzögert ist. Diese Information kann man benutzen um die Entfernung des Pulsar zur Erde zu ermitteln.

Der Brechungsindex des interstellaren Mediums ist gegeben durch

$$n^2 = 1 - \frac{Ne^2}{\epsilon_0 m \omega^2}.$$

$e$  und  $m$  sind die Ladung und Masse eines Elektrons,  $N$  ist die Elektronendichte: Von dieser ist bekannt, dass sie zwischen dem Pulsar und der Erde einen ungefähr konstanten Wert von  $3 \times 10^4 m^{-3}$  hat. Berechnen Sie die Entfernung der Erde zum Pulsar.

### Aufgabe 3 (6 Punkte)

Gegeben sei eine zylindrische Glasfaser in Luft mit stufenförmigen Brechzahlprofil:

$$n(r) = \begin{cases} n_K & \text{für } r \leq a \\ n_M & \text{für } r > a \end{cases}$$

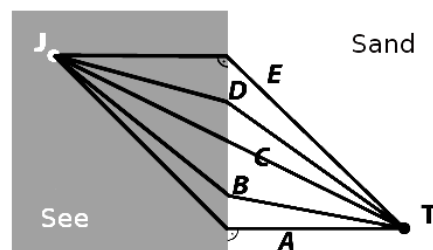
Dabei ist  $n_K = 1.457$  die Brechzahl des Kerns mit Radius  $a$ ,  $n_M = 1.448$  die Brechzahl des Mantels und  $r$  die Radialkoordinate.

- Ein Lichtstrahl treffe unter dem Winkel  $\alpha$  bei  $r = 0$  auf die Stirnfläche der Glasfaser. Bis zu welchem Winkel  $\alpha_{max}$  wird er an der Grenzfläche Kern-Mantel der Glasfaser totalreflektiert?
- Die Dauer, die das Licht zum Durchlaufen des Kerns einer Faser der Länge  $L$  benötigt, hängt nur vom Winkel ab, unter dem sich das Licht zur Faserachse ausbreitet. Wie groß ist der maximale relative Laufzeitunterschied zwischen Strahlen mit unterschiedlichen Eintrittswinkeln  $\alpha$ ? Was müsste man ändern, damit diese die Übertragungslänge begrenzenden Laufzeitunterschiede minimiert werden?

### Aufgabe 4 (5 Punkte)

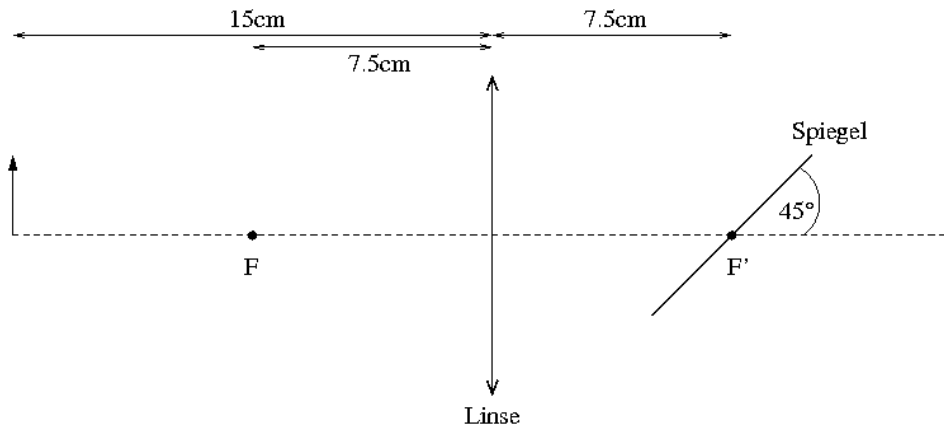
Jane wird in einem ruhigen See am Punkt  $J$  von einem Krokodil angegriffen. Tarzan, der sich an Land mit gezücktem Buschmesser am Punkt  $T$  befindet, möchte ihr zu Hilfe eilen. Tarzan rennt mit  $12m/s$  und schwimmt mit  $3m/s$ . Er wählt den in der Skizze eingezeichneten Weg  $A$ . Er kommt knapp zu spät...

Auf welchem der eingezeichneten Wege hätte Tarzan die größte Chance gehabt, rechtzeitig bei Jane zu sein? Begründen Sie Ihre Entscheidung mit dem Snellius'schen Brechungsgesetz.



### Aufgabe 5 (6 Punkte)

Ein Gegenstand befindet sich  $15\text{cm}$  vor einer dünnen Sammellinse mit einer Brennweite von  $7.5\text{cm}$ . Auf der rechten Seite der Linse befindet sich im Brennpunkt ein Spiegel, der um  $45^\circ$  gedreht ist, so dass die reflektierten Strahlen nicht mehr die Linse treffen.



Wo entsteht das Bild? Wie weit ist es von der optischen Achse entfernt? Ist das Bild reell oder virtuell? Skizzieren Sie den Strahlengang!

### Aufgabe 6 (6 Punkte)

Findige Studenten sind dabei, möglichst viel Information auf ein beidseitig beschriebenes DIN A4 Blatt zu bekommen. Wie klein dürfen sie die Schrift maximal machen, wenn man sie ohne technische Hilfsmittel lesen können soll, d.h. wie klein kann man den Buchstaben E machen, wenn das Kriterium zur Erkennbarkeit ist, dass die drei horizontalen Linien noch getrennt werden können? Nehmen Sie einen Pupillendurchmesser von  $3\text{ mm}$  und einen Leseabstand von  $25\text{ cm}$  an und fertigen Sie eine Skizze an.

Hinweis: Zwei Lichtpunkte gelten als aufgelöst, wenn das Maximum des einen auf das erste Minimum des anderen gebeugt wird. (Rayleigh-Kriterium)

### Aufgabe 7 (10 Punkte)

Ein Strahl trifft senkrecht auf ein Streifengitter mit Gitterkonstante  $g$ . Im Abstand  $D$  in Strahlrichtung dahinter befindet sich ein Beobachtungsschirm bzw. eine Detektoranordnung.

- a) Durch Kernspaltung entstehen im Reaktor Neutronen mit einer mittleren kinetischen Energie von einigen MeV. Beim Durchgang durch einen Moderator tauschen die Neutronen durch Stöße mit dem Kern des Moderators solange Energie aus, bis ihre mittlere kinetische Energie  $\langle E_k \rangle = \frac{3}{2}k_B T$  beträgt ( $T$ : Temperatur des Moderators). Neutronen aus einer kalten Quelle ( $T = 20\text{ K}$ ) werden nun an diesem Streifengitter mit der Konstante  $g = 10^8/\text{m}$  gebeugt. Die Detektoranordnung befindet sich in einem Abstand  $D = 1\text{ m}$  hinter dem Gitter.

In welchem Abstand (senkrecht zum Strahl) vom 0. Maximum ist das 1. Maximum zu finden? (Verwenden Sie gegebenenfalls bei der Herleitung die Kleinwinkelnäherung.)

- b) Welche Gitterkonstante  $g$  muss das Beugungsgitter besitzen, um das gleiche Beugungsmuster wie in Teil (a) für sichtbares Licht ( $E = 3 \text{ eV}$ ) herzustellen?
- c) Nun sollen Elektronen (Ruhemasse  $m_e = 511 \text{ keV}/c^2$ ) mit einer kinetischen Energie  $E_{kin} = 500 \text{ keV}$  gebeugt werden. Um die Orte der Maxima mit einem Detektor bestimmen zu können, müssen diese mehr als 1 mm voneinander getrennt liegen.

Wie weit müsste der Detektor bei den Gitterkonstanten aus (a) und (b) mindestens hinter dem Gitter angebracht werden, um die Lage des 0. und 1. Maximums bestimmen zu können?