

Integrierter Kurs Physik III Exp.-Teil, Optik und Thermodynamik WS 10/11

Prof. G. Maret, Dr. P. Keim

Übungsblatt Nr. 12,

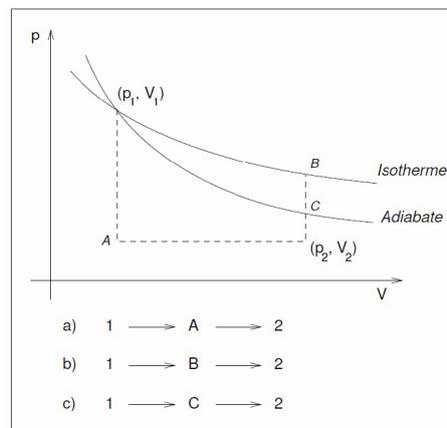
Ausgabedatum: 24.01.2010

Abgabedatum: Mo 31.01.2011 in der Vorlesung

Besprechung: Mi 2.02.2011 in den Übungsgruppen

Aufgabe 36: Zustandsänderungen

Ein ideales Gas wird aus dem Anfangszustand (p_1, V_1, T_1) durch quasistatische Prozesse auf drei verschiedenen Wegen in den Endzustand (p_2, V_2, T_2) gebracht.



Um welchen Betrag ändert sich die innere Energie? Ferner berechne man die Arbeit, die am System zu leisten ist, und die Wärmemenge, die auf den verschiedenen Wegen zuzuführen ist. Man nehme C_V als konstant an. Man drücke die Ergebnisse durch die Zustandsgrößen (p_i, V_i, T_i) , $i = 1, 2$ und C_V aus.

Aufgabe 37: Zyklotron und Speicherring

Ein Zyklotron (siehe Abbildung 1) besteht aus einem Elektromagneten, zwischen dessen Polen sich zwei durch einen schmalen Spalt getrennte halbzyklindrische diamagnetische Metallkammern (D-Elektroden oder Duanden) befinden. In der Mitte der Kammer werden die zu beschleunigenden niederenergetischen Teilchen eingebracht. An den Duanden liegt eine Wechselspannung $U(t) = U_0 \cos(2\pi ft)$ mit konstanter Frequenz f an ($U_0 = 100 \text{ kV}$). Bei jedem Durchlauf durch den Beschleunigungsspalt sollen die geladenen Teilchen durch die Potenzialdifferenz zusätzliche

kinetische Energie gewinnen. Ein senkrecht zu den Elektroden angelegtes Magnetfeld B zwingt die geladenen Teilchen auf gekrümmte Bahnen. Das Innere der Duanden ist frei von elektrischem Feld und nur vom B-Feld durchdrungen.

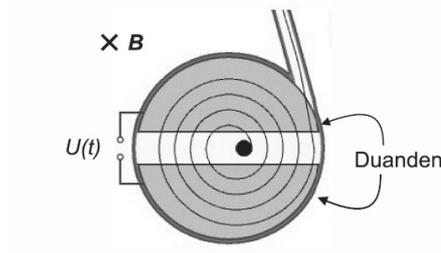


Abbildung 1: Schemaskizze eines Zyklotrons.

- a) Zeigen Sie zunächst in nicht-relativistischer Näherung, dass geladene Teilchen für ein homogenes Magnetfeld B innerhalb der Duanden Halbkreisbahnen mit Energie-unabhängiger Umlauffrequenz beschreiben. Wie muss f allgemein gewählt werden? Welche kinetische Energie besitzt ein Elektron nach seinem vierten Durchlauf durch den Beschleunigungsspalt? Nehmen Sie an, dass der Spalt infinitesimal dünn sei und somit die Beschleunigung jeweils mit maximaler Spannungsamplitude erfolge. Wie groß sind für $B = 2 \text{ T}$ zugehöriger Bahnradius R_4 und Geschwindigkeit v_4 nach nichtrelativistischer Rechnung? Ist diese Näherung gerechtfertigt? Diskutieren Sie diese Frage auch für Protonen. (Hinweis: Elektronenmasse $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$; Protonenmasse $m_p = 1836 \times m_e$).
- b) Leiten Sie einen Lorentz-invarianten Ausdruck für die Umlauffrequenz her. Wie groß ist R_4 für Elektronen? Welches Problem entsteht für die Beschleunigung mit der Wechselspannung konstanter Frequenz f aus a)?
- c) Begründen Sie, warum man Elektronen durch die geschickte Wahl von $U_0 = 2 \times 511 \text{ kV}$ auch bei konstanter Frequenz f auf relativistische Energien beschleunigen kann. (Hinweis: Beachten Sie, dass für die Ruheenergie des Elektrons gilt $m_e c^2 = 511 \text{ keV}$.)
- d) Um auch schwerere Teilchen bei konstanter Umlauffrequenz zu beschleunigen, kann man ein radial nach außen ansteigendes Magnetfeld $B(r)$ anlegen. Welches Profil $B(r)$ ist nötig? Skizzieren Sie die Trajektorie von Protonen während der Beschleunigung qualitativ. Wodurch ist in diesem Fall die maximal erreichbare Energie begrenzt?
- e) Hochenergetische Teilchen können in Speicherringen über längere Zeit auf hohen Geschwindigkeiten gehalten werden. Es wurde vorgeschlagen, Myonen (instabile Elementarteilchen mit einer Lebensdauer von nur $\tau_\mu = 2 \cdot 10^{-6} \text{ s}$ und einer Ruheenergie von $m_\mu c^2 = 105 \text{ MeV}$) in einem Speicherring mit Radius $r = 2 \text{ km}$ bei einer kinetischen Energie von 2 TeV einzuschließen. Ein Student führt aus, dass Myonen aufgrund ihrer kurzen Lebensdauer nur eine maximale Entfernung von $c\tau_\mu = 600 \text{ m}$, also nicht einmal einen einzigen Umlauf im Speicherring, zurücklegen könnten. Hat der Student recht? Berechnen Sie die mittlere Anzahl der Umläufe, die die Myonen im Speicherring tatsächlich vollführen.

Aufgabe 38: Doppler-Effekt: relativistisch und nichtrelativistisch;
(schriftlich)

- a) Der Stern Algol im Sternbild des Perseus verändert seine Helligkeit regelmäßig mit einer Periode von 3,96 Tagen. Dabei verschiebt sich die H_α -Linie (Spektrallinie des Wasserstoffatoms) mit der gleichen Periode zwischen 655,38 nm und 657,18 nm. Die Ursache für diese Erscheinung ist, dass der Stern mit einem dunklen Begleiter um den gemeinsamen Schwerpunkt kreist. Die Erde steht nahezu in der Ebene der Kreisbahn, so daß die Linienverschiebung eine Folge des Doppler-Effektes der unterschiedlichen Bewegungsrichtungen des Sterns in Bezug zur Erde ist. Wie groß sind Bahngeschwindigkeit und Durchmesser der von dem hellen Stern beschriebenen Kreisbahn?
- b) Geschwindigkeitskontrollen im Straßenverkehr werden meist mit Hilfe eines Doppler-Radars durchgeführt, das auf dem Prinzip des longitudinalen Dopplereffektes beruht. Dabei wird die Frequenz f' einer vom Fahrzeug reflektierten monochromatischen Mikrowellenstrahlung der Frequenz $f = 30$ GHz präzise bestimmt. Welcher vereinfachte lineare Zusammenhang gilt zwischen der Frequenzverschiebung und der Geschwindigkeit des Fahrzeugs? Wie groß ist die Frequenzverschiebung $f' - f$, welche die Polizei in einer Geschwindigkeitsbeschränkung auf 80 km/h höchstens messen sollte?
- c) Der Dopplereffekt in seiner klassischen Form ist aus der Akustik bekannt (z.B. Martinshorn auf Rettungswagen). Betrachten Sie einen Radfahrer, der mit der Geschwindigkeit $v = 36$ km/h auf einen stehenden Fußgänger zufährt. Welche Frequenz f' nimmt der Fußgänger wahr, wenn der Radfahrer Schallwellen mit der Frequenz f aussendet? (Hinweis: Überlegen Sie sich, welche effektive Wellenlänge der Schall am Ort des Fußgängers hat.) Geben Sie die Frequenz- und Wellenlängenänderung für eine Frequenz von 200 Hz und eine Schallgeschwindigkeit von $v_s = 330$ m/s auf sechs Stellen genau an.
- d) Nehmen Sie nun an, dass der Fußgänger dem Radfahrer zuruft. Welche Änderung in der Frequenz bzw. Wellenlänge nimmt der Radfahrer wahr? Berechnen Sie diese Änderungen für die in c) angegebenen Größen. Wie ist der Unterschied in den Ergebnissen aus den Teilaufgaben c) und d) erklärbar? Gibt es einen ähnlichen Effekt auch in der Optik?

7 Punkte