

Schriftliche Abiturprüfung 2005 – Sachsen-Anhalt
Physik 13 n
(Leistungskursniveau)

Thema G2: Untersuchungen von Bewegungen

1 Betrachtungen zur Relativität

Die Huygens'sche Theorie von der Ausbreitung einer Welle verlangt nach einem Trägermedium.

- 1.1 Die Laufzeit von Ultraschallsignalen ($v = 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) soll mit einer 400 m langen Versuchsstrecke gemessen werden.

Berechnen Sie, wie groß die Laufzeiten der Signale bei Windstille und bei Gegen- bzw. Rückenwind von $v_{\text{Wind}} = 27,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ sind, wenn das Signal jeweils Hin- und Rückweg durchläuft.

Die Laufzeit bei senkrecht auftreffendem, gleichstarkem Seitenwind beträgt $t_s = 2,36 \text{ s}$.

Beschreiben Sie den Einfluss des Trägermediums auf die Ausbreitung eines Schallsignals.

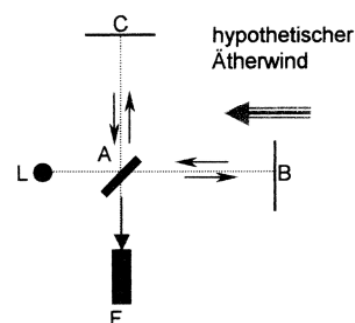
- 1.2 Bei einem Michelson-Experiment (Bild 1) oder einem anderen Experiment soll die Laufzeit von Lichtsignalen in Abhängigkeit von der Ausbreitungsrichtung untersucht werden. Beschreiben Sie die Durchführung des von Ihnen gewählten Experimentes und die dabei erwarteten Versuchsergebnisse.

L monochromatische Lichtquelle

A halbdurchlässiger Spiegel

B, C Spiegel

F Beobachtungsfernrohr



- 1.3 Die erwarteten Versuchsergebnisse traten trotz sorgfältiger Messungen nicht ein. Welche Überlegungen Einsteins stimmen mit dem tatsächlichen Versuchsergebnis überein?

2 Effekte in Beschleunigern im Deutschen Elektronen - Synchrotron in Hamburg (DESY)

- 2.1 Relativistische Effekte treten bei Experimenten mit Beschleunigern auf. Bei einem Experiment wird ein Proton auf $0,999996 c$ beschleunigt.

Berechnen Sie dessen relativistische Masse und die relativistische kinetische Energie.

Stellen Sie die Masse eines beliebigen Protons in einem $m(v)$ - Diagramm im Intervall $0 \leq v < c$ dar.

- 2.2 HERA ist derzeit mit 6336 m Umfang der größte Teilchenbeschleuniger am Deutschen Elektronen-Synchrotron in Hamburg, mit dem Protonen bis zu einer Energie von 920 GeV beschleunigt werden können.

Um bei einem speziellen Versuch ein Proton der Energie von 280 GeV auf der Bahn, die vereinfacht als Kreis angenommen werden kann, zu halten, benötigt man ein magnetisches Führungsfeld. Es wird durch eine Vielzahl supraleitender Magnete erzeugt.

Berechnen Sie die notwendige Flussdichte B , wenn das Magnetfeld senkrecht zur Geschwindigkeitsrichtung verläuft.

Begründen Sie, warum es mit einem Zyklotron nicht gelingt, Protonen auf derartig hohe Energien zu beschleunigen.

3 Waagerechter Wurf (Schülerexperiment)

In dieser Aufgabe ist ein Experiment durchzuführen und auszuwerten. Beantworten Sie dazu die Fragen zur Vorbetrachtung und führen Sie das Experiment durch. Die Auswertung erfolgt nach den angegebenen Vorgaben. Fertigen Sie ein vollständiges Protokoll an.

Auftrag:

Ermitteln Sie den Zusammenhang zwischen der Starthöhe h und der Wurfweite x einer Kugel.

Vorbetrachtungen:

Eine Kugel rollt aus der Höhe h eine geneigte Ebene herab. Dabei wird die potenzielle Energie in kinetische Energie und Rotationsenergie umgesetzt. Bei Beachtung der Ro-

tationsenergie ergibt sich die Gleichung (1) $v = \sqrt{\frac{10}{7} \cdot g \cdot h}$ für die Geschwindigkeit der

Kugel am Ende der geneigten Ebene.

Zeigen Sie mit Gleichung (1) und der Gleichung für die Bahnkurve des waagerechten Wurfes den Zusammenhang zwischen x und h bei konstantem y .

Begründen Sie, dass die Wurfweite x vom Ortsfaktor der Fallbeschleunigung unabhängig ist.

Ablauf des Experimentes:

- 1 Bauen Sie die Experimentieranordnung entsprechend der Skizze auf.
- 2 Messen Sie die Höhe h , aus der die Kugel abrollt.
- 3 Lassen Sie die Kugel auf der geneigten Ebene abrollen. Sie führt einen waagerechten Wurf aus. Legen Sie eine Fallhöhe y fest und messen sie die Wurfweiten x_i zu den gewählten Höhen h_i ($i \geq 8$).

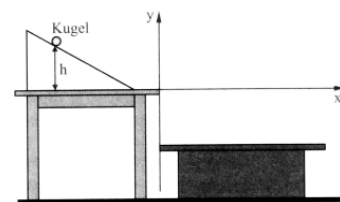


Bild 2

Auswertung:

- 1 Zeichnen Sie ein $x(h)$ - Diagramm für Ihre Messwerte.
- 2 Zeichnen Sie in dasselbe Diagramm die Idealkurve ein und berechnen Sie die dazu notwendigen Werte. Begründen Sie mögliche Abweichungen zwischen den Messwerten und den berechneten Werten in der Fehlerbetrachtung.
- 3 Überprüfen Sie rechnerisch, ob die Messwerte der in der Vorbetrachtung hergeleiteten Proportionalität genügen.

Lösung:

1.1

Laufzeit t_1 bei Windstille:

$$t_1 = \frac{2 \cdot s}{v_1} = \frac{2 \cdot 400 \text{ m}}{340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}} = \underline{2,35 \text{ s}}$$

Laufzeit t_2 bei Wind:

$$\begin{aligned} t_2 &= \frac{s}{v_1 - v_{\text{Wind}}} + \frac{s}{v_1 + v_{\text{Wind}}} \\ &= \frac{400 \text{ m}}{313 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}} + \frac{400 \text{ m}}{367 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}} = \underline{2,37 \text{ s}} \end{aligned}$$

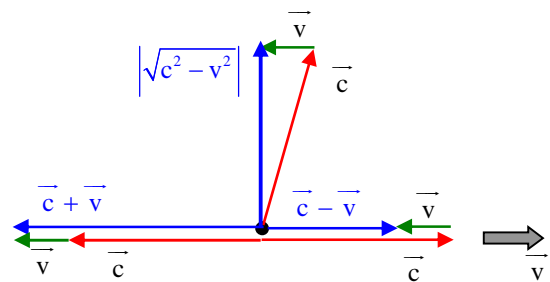
Beschreibung – Einfluss des Trägermediums:

- Bei Geschwindigkeiten weit unterhalb der Lichtgeschwindigkeit addieren sich Geschwindigkeiten vektoriell (Galileitransformation).
- Schallwellen sind bei ihrer Ausbreitung an ein Trägermedium gebunden (Ausbreitung durch Druckunterschiede)
- Bewegt sich das Trägermedium (Luft), so wird die Geschwindigkeit des Trägermediums der Ausbreitungsgeschwindigkeit der Schallwelle überlagert.
- Welle breitet sich mit der Relativgeschwindigkeit aus.

1.2 Michelson-Experiment:

Durchführung:

- In L wird ein Lichtimpuls in Richtung A abgegeben.
- In A wird ein Teil des Lichtes reflektiert, gelangt zu C, wird reflektiert, durchdringt den Spiegel A und gelangt zum Empfänger F.
- Ein anderer Teil des Lichtes wird in A nicht reflektiert, sondern hindurchgelassen, gelangt auf den Spiegel B, wird reflektiert, gelangt zum Spiegel A, wird wiederum reflektiert und gelangt nun zum Empfänger F.
- Wegen der unterschiedlichen Ausbreitungsrichtung des Lichtes zum ruhenden Äther, sollte es zu einem Laufzeitunterschied beider Lichtblitze kommen.
- Die Geschwindigkeit v (Bahngeschwindigkeit der Erde) wirkt als Geschwindigkeit des Ätherwindes gegen die Erdrotation.
- Da sich die Erde mit v bewegt, sollte der Lichtstrahl auf dem Weg \overline{AB} verlangsamt, auf dem Weg \overline{BA} aber wieder schneller werden.
- Als Ergebnis wurden Interferenzstreifen beobachtet.
- Die Interferenzstreifen sollten sich verschieben



Laufzeitdifferenz:

- Die Laufzeit t_1 für die Strecken \overline{AB} und \overline{BA} stellt die Zeit für den Hin- und Rückweg dar.

$$\begin{aligned} t_1 &= \frac{l_1}{c-v} + \frac{l_1}{c+v} = \frac{l_1 \cdot (c+v) + l_1 \cdot (c-v)}{(c-v) \cdot (c+v)} \\ &= \frac{l_1 \cdot c + l_1 \cdot v + l_1 \cdot c - l_1 \cdot v}{c^2 - v^2} = \frac{2 \cdot l_1 \cdot c}{c^2 - v^2} = \frac{2 \cdot l_1 \cdot c}{c^2 - v^2} \cdot \frac{c^2}{c^2} \\ &= \frac{2 \cdot l_1 \cdot c}{c^2 - v^2} = \frac{2 \cdot l_1}{c} \cdot \frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}} \end{aligned}$$

- Laufzeit t_2 für die Strecken \overline{AC} und \overline{CA} :
Der Ätherwind bewirkt eine Abdrift des von A ausgehenden Strahles. Damit dieser den Spiegel C trifft, muss sich die resultierende Geschwindigkeit in Richtung \overline{AC} nach $v_{\text{res}} = \sqrt{c^2 - v^2}$ ergeben.

$$t_2 = \frac{\ell_2}{\sqrt{c^2 - v^2}} + \frac{\ell_2}{\sqrt{c^2 - v^2}} = \frac{2 \cdot \ell_2}{\sqrt{c^2 - v^2}} \cdot \frac{c}{c}$$

$$= \frac{\frac{2 \cdot \ell_2}{c}}{\frac{\sqrt{c^2 - v^2}}{c}} = \frac{2 \cdot \ell_2}{c} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Laufzeitunterschied für beide Lichtstrahlen: mit $\ell_1 = \ell_2 = \ell$

$$\Delta t = t_2 - t_1$$

$$\Delta t = \frac{2 \cdot \ell}{c} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - \frac{2 \cdot \ell}{c} \cdot \frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$\Delta t = \frac{2 \cdot \ell}{c} \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - \frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}} \right)$$

erwartetes Ergebnis:

Verschiebung der Interferenzstreifen bei Drehung der Anlage.

erzielte Ergebnisse:

- Durch die Drehung wurde keine Verschiebung der Interferenzstreifen beobachtet!
- Es gibt keinen Äther. Das Licht benötigt kein Medium zu seiner Ausbreitung. Somit gibt es keinen absoluten Raum mit Äther, also kein ausgezeichnetes Bezugssystem. Die Geschwindigkeit des Lichtes ist unabhängig von seiner Ausbreitungsrichtung. In unterschiedlich bewegten Systemen ist die Lichtgeschwindigkeit stets gleich.

1.3

Übereinstimmung: Einstein – Versuchsergebnis:

- Lichtgeschwindigkeit ist konstante Größe (nicht durch Relativgeschwindigkeit bestimmt)
- es gibt kein bevorzugtes Inertialsystem (keinen bevorzugten absoluten Raum)

2.1

Relativistische Masse:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{0,999996^2}{c^2}}} = \frac{m_0}{\sqrt{1 - 0,999996^2}} = 353,55 m_0$$

Relativistische Energie:

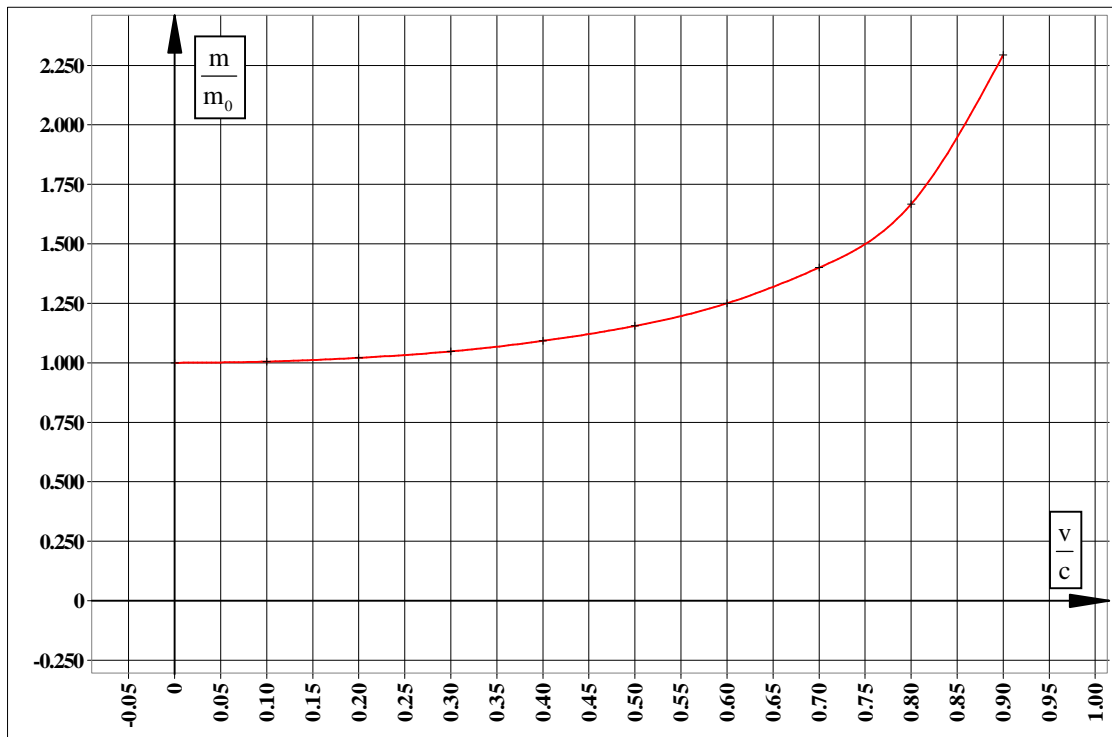
$$E = m \cdot c^2 = 353,55 \cdot m_0 \cdot c^2$$

$$= 353,55 \cdot 1,672 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \cdot 9,0 \cdot 10^{16} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2} = 1,5048 \cdot 10^{-10} \text{ J} = 1,5048 \cdot 10^{-10} \text{ V A s}$$

$$= 1,5048 \cdot 10^{-10} \text{ V} \cdot \frac{1}{1,602 \cdot 10^{-19}} \text{ e} = 3,32 \cdot 10^{11} \text{ eV} = \underline{\underline{332 \text{ GeV}}}$$

m(v)-Diagramm:

v in a · c	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
a ∈ N											
m in b · m ₀	1	1,00 5	1,02 1	1,04 8	1,09 2	1,15 5	1,25 0	1,40 0	1,66 7	2,29 4	n.d.



2.2

Berechnung der Flussdichte:

$$F_L = F_r$$

$$\frac{m \cdot v^2}{r} = e \cdot v \cdot B$$

$$v = \frac{e \cdot B \cdot r}{m} \quad \text{mit} \quad m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$v = \frac{e \cdot B \cdot r}{m_0} \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$B = \frac{v \cdot m_0}{e \cdot r \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Bestimmung der Geschwindigkeit:

$$E_{\text{kin}} = m \cdot c^2 \quad \text{mit} \quad m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$E_{\text{kin}} = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \cdot c^2$$

$$E_{\text{kin}}^2 = \frac{m_0^2 \cdot c^4}{c^2 - v^2} = \frac{m_0^2 \cdot c^6}{c^2 - v^2}$$

$$c^2 - v^2 = \frac{m_0^2 \cdot c^6}{E_{\text{kin}}^2}$$

$$v^2 = c^2 - \frac{m_0^2 \cdot c^6}{E_{\text{kin}}^2} = c^2 \cdot \left(1 - \frac{m_0^2 \cdot c^4}{E_{\text{kin}}^2} \right) \Rightarrow v = c \cdot \sqrt{1 - \frac{m_0^2 \cdot c^4}{E_{\text{kin}}^2}}$$

$$B = \frac{v \cdot m_0}{e \cdot r \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad \text{mit} \quad v = c \cdot \sqrt{1 - \frac{m_0^2 \cdot c^4}{E_{\text{kin}}^2}}$$

$$B = \frac{m_0 \cdot c \cdot \sqrt{1 - \frac{m_0^2 \cdot c^4}{E_{\text{kin}}^2}}}{e \cdot r \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{m_0 \cdot c}{e \cdot r} \cdot \sqrt{\frac{1 - \frac{m_0^2 \cdot c^4}{E_{\text{kin}}^2}}{1 - \left(1 - \frac{m_0^2 \cdot c^4}{E_{\text{kin}}^2} \right)}}$$

$$= \frac{m_0 \cdot c}{e \cdot r} \cdot \sqrt{\frac{1 - \frac{m_0^2 \cdot c^4}{E_{\text{kin}}^2}}{1 - 1 + \frac{m_0^2 \cdot c^4}{E_{\text{kin}}^2}}} = \frac{m_0 \cdot c}{e \cdot r} \cdot \sqrt{\frac{E_{\text{kin}}^2 - m_0^2 \cdot c^4}{E_{\text{kin}}^2}}$$

$$= \frac{m_0 \cdot c}{e \cdot r} \cdot \sqrt{\frac{E_{\text{kin}}^2 \cdot (E_{\text{kin}}^2 - m_0^2 \cdot c^4)}{E_{\text{kin}}^2 \cdot m_0^2 \cdot c^4}}$$

$$B = \frac{c}{e \cdot r} \cdot \sqrt{\frac{E_{\text{kin}}^2 - m_0^2 \cdot c^4}{c^4}}$$

$$= \frac{c}{e \cdot r} \cdot \sqrt{\frac{E_{\text{kin}}^2}{c^4} - \frac{m_0^2 \cdot c^4}{c^4}}$$

$$= \frac{2\pi \cdot c}{e \cdot u} \cdot \sqrt{\frac{E_{\text{kin}}^2}{c^4} - m_0^2}$$

$$= \frac{2\pi \cdot 3,0 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}{1,602 \cdot 10^{-19} \text{ As} \cdot 6336 \text{ m}} \cdot \sqrt{\frac{9,2^2 \cdot 10^{28} \cdot 1,602^2 \cdot 10^{-38} \text{ A}^2 \text{ s}^2 \cdot \text{V}^2}{81 \cdot 10^{32} \text{ m}^4 \cdot \text{s}^{-4}} - 1,672^2 \cdot 10^{-54} \text{ kg}^2} = \underline{\underline{0,9 \text{ T}}}$$

$$[B] = \frac{\text{m} \cdot \text{s}^{-1}}{\text{As} \cdot \text{m}} \cdot \sqrt{\frac{\text{A}^2 \text{ s}^2 \cdot \text{V}^2}{\text{m}^4 \cdot \text{s}^{-4}} - \text{kg}^2} = \frac{1}{\text{As}^2} \cdot \sqrt{\frac{\text{kg}^2 \cdot \text{m}^4 \cdot \text{s}^{-4}}{\text{m}^4 \cdot \text{s}^{-4}} - \text{kg}^2}$$

$$= \frac{1}{\text{As}^2} \cdot \sqrt{\text{kg}^2} = \frac{\text{kg}}{\text{A} \cdot \text{s}^2} = \frac{\text{kg}}{\text{A} \cdot \text{s}^2} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{m}^2} = \frac{\text{J}}{\text{A} \cdot \text{m}^2} = \frac{\text{VAs}}{\text{A} \cdot \text{m}^2} = \frac{\text{Vs}}{\text{m}^2} = \underline{\underline{\text{T}}}$$

Begründung für Unmöglichkeit mit Protonen:

- Durch die relativistische Massenzunahme wird die Umlaufzeit der Protonen vergrößert
- elektrisches Wechselfeld mit konstanter Frequenz kann Protonen nicht mehr beschleunigen, da sie den Spalt zu falschen Zeit erreichen.

3. Vorbetrachtungen

Herleitung des Zusammenhangs:

$$y = -\frac{g}{2 \cdot v_0^2} \cdot x^2 \quad \text{mit } v_0^2 = \frac{10}{7} g \cdot h$$

$$y = -\frac{7g}{2 \cdot 10 \cdot g \cdot h} \cdot x^2$$

$$x = \sqrt{\left| \frac{20 \cdot h \cdot y}{7} \right|} \quad \text{mit } y = \text{konstant} \Rightarrow$$

$$x \sim \sqrt{h}$$

Unabhängigkeit vom Ortsfaktor:

In der Gleichung für die Wurfweite tritt g nicht mehr auf.

Messwerte:

Berechnungen der Werte für Idealkurve:

x(h)-Diagramm + Idealkurve::

Überprüfung der Proportionalität:

Fehlerbetrachtung:

} entsprechend dem Versuchsaufbau
und der Durchführung
(siehe auch <http://www.ph-ma-gaede.de> - Praktikum