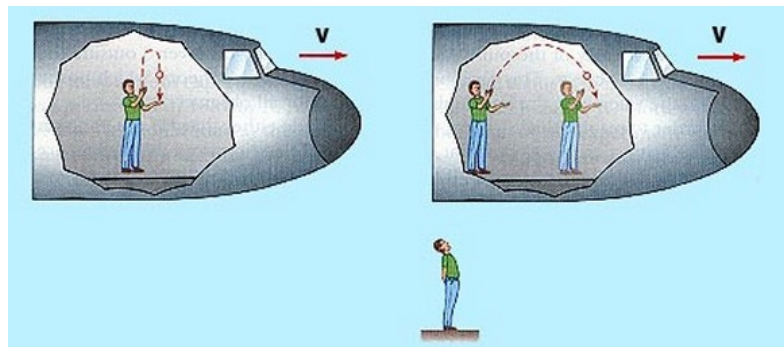


Übungen zum EF Physik des 20. Jahrhunderts

Serie 1: Relativitätsprinzip

1. Kurze rechnungsfreie Kontrollfragen

- (a) Kurz gesagt sind Inertialsysteme *nicht-beschleunigte Bezugssysteme*.
Überlege dir anhand eines (theoretischen) Versuches, wie wir uns davon überzeugen können, dass ein Auto, das eine Kurve fährt, kein Inertialsystem ist.
- (b) Woher kommt der Begriff *Scheinkraft*? Benutze deinen Versuch aus (a) zur Illustrierung.
- (c) In der 1. Klasse haben wir ohne grosse Bedenken das *Schulzimmer* als Inertialsystem angesehen. Weshalb war das einerseits zwar falsch, aber andererseits eben doch nicht so schlimm?
- (d) Was verstehen wir unter der *Standardorientierung* zweier Inertialsysteme?
- (e) Beschreibe das deiner Vorstellung nach beste real existierende *Inertialsystem*. An welchem resp. an welchen Körpern könnte/sollte man sich dabei orientieren?
- (f) Wahr oder falsch? Der Ausdruck "in Ruhe sein" hat in der Physik keine absolute Bedeutung.
- (g) Wahr oder falsch? Da die Gesetze der Physik in allen Inertialsystemen dieselben sein sollen, ...
- i. sieht ein bestimmter Vorgang, z.B. ein Bewegungsablauf, in allen zwei verschiedenen Inertialsystemen genau gleich aus.
 - ii. müssen Objekte in allen Inertialsystemen dieselbe kinetische Energie aufweisen.
 - iii. müssen mechanische Experimente, die in zwei unterschiedlichen Inertialsystemen genau gleich durchgeführt werden, in beiden Systemen zum exakt gleichen Resultat führen.
- (h) Erläutere anhand der folgenden Grafik das Relativitätsprinzip:



2. Kleine Rechenaufgaben

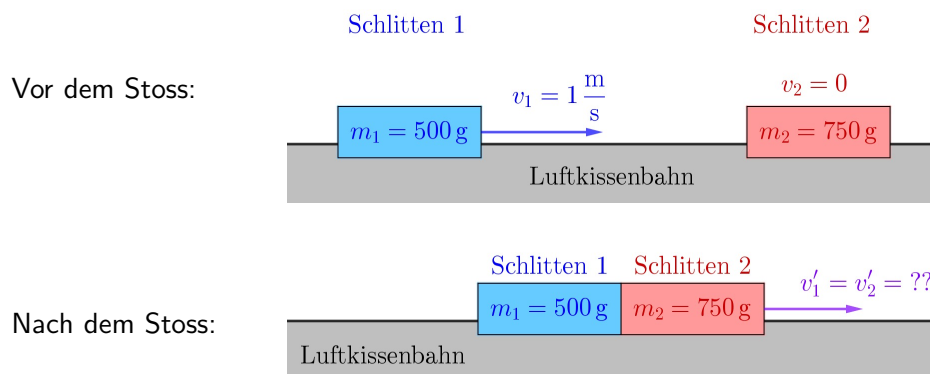
- (a) Boot 1 fährt mit $3.4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ westwärts, Boot 2 mit $5.0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ostwärts. Zu jedem Boot gehört ein Bezugssystem, wobei die beiden Systeme in *Standardorientierung* zueinander liegen (x/x' -Achse nach Osten). Achte bei den folgenden Antworten stets auf die Vorzeichen.
- i. Welche Geschwindigkeit weisen die Boote im Bezugssystem des jeweils anderen Bootes auf?
 - ii. Welche Geschwindigkeit hat das Wasser in den beiden Boot-Bezugssystemen?
 - iii. Auf Boot 1 wird ein Ball in Rückwärtsrichtung mit $7.2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ horizontal von Bord geworfen. Welche Geschwindigkeit hat dieser Ball beim Abwurf aus der Sicht des Wassers resp. aus derjenigen von Boot 2?
- (b) Der Relativitätsexpress fährt mit 80 % der Lichtgeschwindigkeit an dir vorüber. Innerhalb des Zugs rast ein Serviceangestellter mit 0.6-facher Lichtgeschwindigkeit mit der Minibar durch den Gang. Mit welcher Geschwindigkeit bewegt sich gemäss Galilei-Transformation der Serviceangestellte relativ zu dir, wenn er sich innerhalb des Zugs i. rückwärts, ii. vorwärts bewegt?

3. Ereignisse in verschiedenen Bezugssystemen

Ein Zug sei 120 m lang. Der Ursprung des Zugsystems S' sitze am Zugende ($x' = 0$). Der Ursprung des Schienensystems S befinde sich bei einem Signal ($x = 0$), an dem das Zugende zum Zeitpunkt $t = t' = 0$ vorbeifährt. Der Zug ist mit $126 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ unterwegs.

- Zum Zeitpunkt $t' = 12 \text{ s}$ betätige der Lokführer die Zugpfeife an der Zugspitze.
Wie lauten die Koordinaten dieses Ereignisses im Zugsystem S' und im Schienensystem S ?
- Zum Zeitpunkt $t = 10 \text{ s}$ betrete ein alter Herr einen unbewachten Bahnübergang bei $x = 750 \text{ m}$.
Wie lauten die Koordinaten dieses Ereignisses in S und in S' ?

4. Bezugssysteme beim vollständig inelastischen Stoss – Impuls und kinetische Energie



Ein Schlitten 1 der Masse 0.5 kg ist auf der Luftkissenbahn mit $1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ nach rechts unterwegs, bevor er auf einen ruhenden Schlitten 2 der Masse 0.75 kg trifft. Beim Zusammenprall bleiben die beiden Schlitten aufgrund einer Klettvorrichtung aneinander haften und bewegen sich gemeinsam weiter. Man nennt dies einen **vollständig inelastischen Stoss**.

- Wie gross sind die Impulse der beiden Schlitten vor dem Stoss?
- Welche gemeinsame Geschwindigkeit $v'_1 = v'_2$ haben die beiden Wagen nach dem Zusammenprall im System S der Luftkissenbahn?
- Wie gross sind die kinetischen Energien der beiden Schlitten vor und nach dem Stoss? Bleibt die gesamte kinetische Energie beim inelastischen Stoss erhalten? Weshalb resp. weshalb nicht?
- Gib nun alle Grössen (Geschwindigkeiten, Impulse, kinetische Energien vor und nach dem Stoss, Veränderung der gesamten kinetischen Energie) im System S_1 des sich anfänglich bewegenden Schlittens an!

Was stellst du beim Vergleich mit den Werten im S -System fest?

- Bei Stossversuchen empfiehlt sich zum Rechnen oft ein ganz bestimmtes Inertialsystem, das sogenannte **CMS** (= *Center of Mass System* oder *Schwerpunktsystem*). Es ist das Bezugssystem, das am gemeinsamen **Schwerpunkt** X der beiden Stosspartner befestigt ist.

Befindet sich der Körper 1 mit Masse m_1 am Ort x_1 und der Körper 2 mit Masse m_2 am Ort x_2 , so ist der Schwerpunkt X gegeben durch:

$$X = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2}{m_1 + m_2} = \frac{m_1}{m_1 + m_2} x_1 + \frac{m_2}{m_1 + m_2} x_2$$

In Worten: Der Schwerpunkt X ist die gewichtete Mittelung der beiden Körperorte x_1 und x_2 mit den beiden Massen m_1 und m_2 als Gewichte.

Daraus folgt für die Geschwindigkeit V des Schwerpunktes:

$$V = \frac{dX}{dt} = \frac{m_1}{m_1 + m_2} \frac{dx_1}{dt} + \frac{m_2}{m_1 + m_2} \frac{dx_2}{dt} = \frac{m_1}{m_1 + m_2} v_1 + \frac{m_2}{m_1 + m_2} v_2 = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2}$$

Dabei haben wir verwendet, dass eine Geschwindigkeit als zeitliche Veränderung eines Ortes aufzufassen ist.

Bemerkung: Die Geschwindigkeitsfunktion $v(t)$ ist stets die Ableitung der Ortsfunktion $x(t)$ nach der Zeit t , also $v(t) = x'(t)$. Während wir in der Gymi-Mathematik Ableitungen meistens mit einem Strich kennzeichnen (*Lagrange-Notation*), habe ich hier die sogenannte *Leibniz-Notation* mit den infinitesimalen Veränderungen dx und dt verwendet.

Vielleicht hast du das in der Mathematik bei der Definition der Ableitung wie folgt notiert gesehen:

$$f'(x) = \frac{df}{dx} := \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta f}{\Delta x} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{f(x + \Delta x) - f(x)}{\Delta x}$$

Benutze nun obige Formel zur Bestimmung der CMS-Geschwindigkeit V im System S der Luftkissenbahn. Das Resultat sollte dir bekannt vorkommen!

- (f) Was zeichnet das CMS aus? Anders gefragt: Wie läuft der Zusammenstoss der beiden Schlitten im CMS ab?
- (g) Wie gross ist der Gesamtimpuls im CMS?
- (h) Wie gross ist die gesamte kinetische Energie im CMS vor und nach dem Stoss?
- (i) Wie viel kinetische Energie geht im CMS beim Zusammenstoss verloren? Vergleiche dieses Resultat mit denjenigen aus den Aufgaben (c) und (d).
- (j) Aufgrund der bisherigen Resultate sieht es so aus, als ob die beim Zusammenstoss verloren gehende kinetische Energie unabhängig davon ist, in welchem Bezugssystem wir diesen Zusammenstoss beschreiben.

Weshalb sollten wir erwarten, dass dies tatsächlich so ist?

- (k) Zeige ganz allgemein, dass die beim Zusammenstoss freigesetzte Energie unabhängig vom gewählten Bezugssystem ist!

Tipp zum Vorgehen: Im Prinzip geht es darum, die Rechnung unter (c) verallgemeinert zu wiederholen. Wir wollen zeigen, dass die beim Zusammenstoss freigesetzte kinetische Energie in zwei Bezugssystemen S und S' unabhängig von deren Relativgeschwindigkeit v . Dabei haben wir eine gewisse Wahlfreiheit. Eines der beiden Systeme können wir uns o.B.d.A. beliebig vorgeben. Solange hinterher jede beliebige Relativgeschwindigkeit v erlaubt ist, decken wir automatisch alle Möglichkeiten ab.

Wähle also als Ausgangssystem das System mit der Geschwindigkeit v_1 für Schlitten 1 und der Geschwindigkeit $v_2 = 0$ für Schlitten 2. In diesem System ist die Geschwindigkeit nach dem Stoss gegeben durch $V = \frac{m_1 v_1}{m_1 + m_2}$.

Alle diese Geschwindigkeiten – v_1 , v_2 und V – müssen ins System S' transformiert werden. D.h., von jeder Geschwindigkeit muss die Relativgeschwindigkeit v subtrahiert werden.

Danach können wir in beiden System alle kinetischen Energien vor und nach dem Zusammenstoss berechnen. Am Ende müssten wir in beiden Systemen für die verloren gegangene kinetische Energie denselben Ausdruck erhalten. Das bedeutet insbesondere, dass sich bei der Rechnung im S' -System die Relativgeschwindigkeit v wegstreichen muss. . .

- (l) Eine Aussage: *Von allen Bezugssystemen ist das CMS beim Zusammenstoss zweier Körper dasjenige Bezugssystem, in dem die totale kinetische Energie vor dem Zusammenstoss den geringsten Wert aufweist.*

Begründe diese Aussage aufgrund der vorigen Überlegungen. Du brauchst hierfür nichts mehr zu rechnen! (Aber natürlich kann man das auch algebraisch zeigen. . .)