Konzeption für den Oberstufenworkshop

Gruppe: Visualisierung
Verantwortliche: Anna Launus, Michael Sueß
Zeitplanung: ca. 70 Minuten pro Schülergruppe

Bewegung am kosmischen Limit
Visualisierung relativistischer Effekte

TEIL I: Lichtlaufzeiteffekt – warum die Längenkontraktion im Allgemeinen nicht sichtbar ist

ANNA

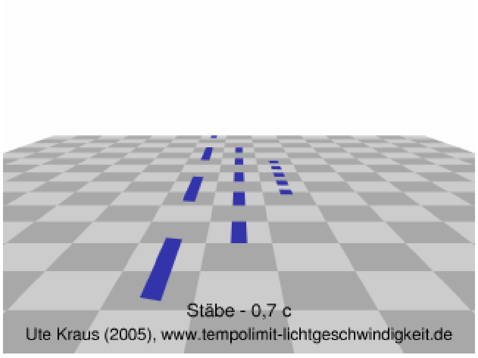
- Begrüßung und Vorstellung des Themas
- Bereits bekannt aus dem Freitagsseminar (16.01.2009) → Längenkontraktion – Wahrnehmung der verkürzten Länge l_B:

$$l_B = l_A \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

l_A entspricht der Ruhelänge im mit der Geschwindigkeit v bewegten System.

Filmmaterial:

- Stabbewegung (Näherung und Entfernung)



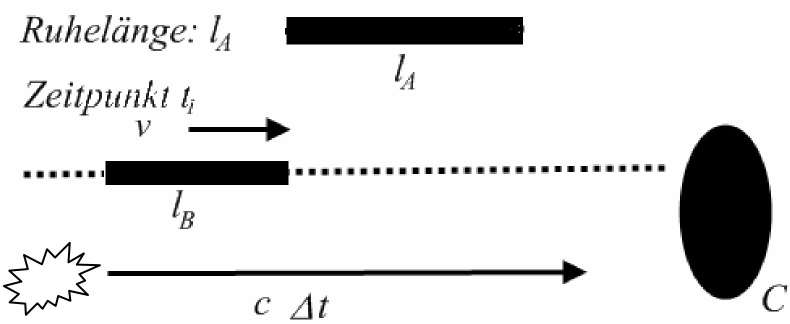
Das Aussehen fast lichtschneller Objekte ist viel verblüffender als eine simple Stauchung in Bewegungsrichtung wäre. Wie können wir das erklären?

MICHA

Konkretes Beispiel:
Bewege sich ein Stab mit der Geschwindigkeit v genau längs der Sichtlinie auf eine Kamera C zu, die ihn fotografieren soll.
Frage an die Schüler:

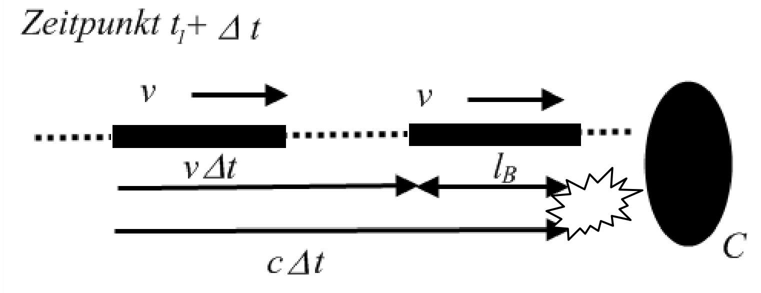
Sieht der Stab länger, kürzer oder gegenüber einem ruhenden Stab unverändert aus?

Skizze an der Tafel:

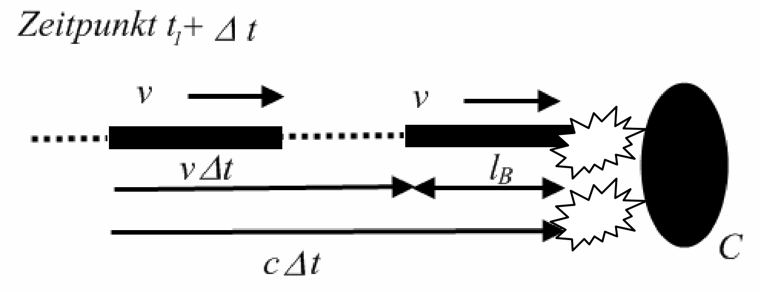


Der Stab erscheint mit der Länge l_B. Ein Lichtsignal vom Ende des Stabes bewegt sich mit Lichtgeschwindigkeit und überholt den Stab, da Licht auf jeden Fall schneller ist als die Stabgeschwindigkeit v. Nach der Zeit Δt hat es den Stab überholt und die Spitze erreicht.

Skizze:



Ein zweites Lichtsignal, das nun gleichzeitig zum Zeitpunkt $t_I + \Delta t$ von der Spitze des Stabes parallel losläuft, erreicht auch gleichzeitig mit dem ersten Lichtsignal die Kamera, da sich die Lichtsignale alle mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten.

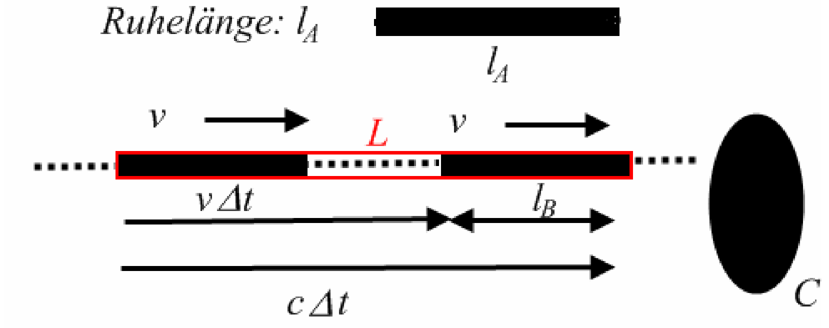


Frage an die Schüler:

Wie lang erscheint wohl der Stab?

Antwort:
Stab erscheint in der Länge vom Herkunftsort des ersten Lichtsignals bis zu dem des zweiten Lichtsignals. Die Kamera detektiert den ersten und den zweiten Lichtstrahl gleichzeitig, weil sich beide vom gleichen Ort (s. Abbildung) parallel und gleich schnell mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten.

Skizze (Schüler können das auch einzeichnen bzw. Vorschläge bringen)



ANNA

Berechnung der „fotografierten" Länge L *(je nach Leistungsvermögen der Teilnehmer mehr oder weniger ausführlich)*

$$c\Delta t = v\Delta t + l_B$$

$$\Delta t = \frac{l_B}{c-v}$$
$$L = c\Delta t$$
$$L = c\frac{l_B}{c-v}$$
$$L = \frac{l_B}{1-\frac{v}{c}}$$

mit der Längenkontraktion:

$$l_B = l_A\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$$

gilt:

$$L = l_A\frac{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}{1-\frac{v}{c}}$$

$$L = l_A\frac{\sqrt{1-\frac{v}{c}}\cdot\sqrt{1+\frac{v}{c}}}{\sqrt{1-\frac{v}{c}}\cdot\sqrt{1-\frac{v}{c}}}$$

$$L = l_A\sqrt{\frac{1+\frac{v}{c}}{1-\frac{v}{c}}}$$

Der heran fliegende Stab sieht auf dem Foto also länger aus, als wenn er ruht!

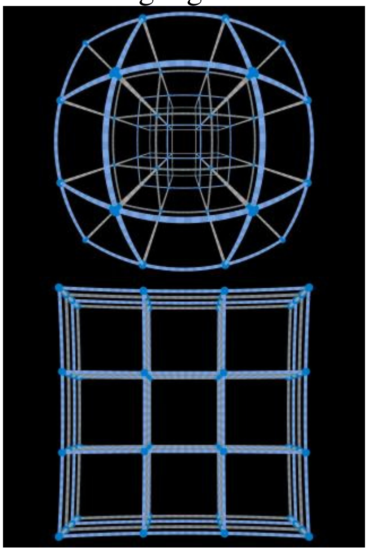
MICHA/ANNA

Frage an die Schüler:

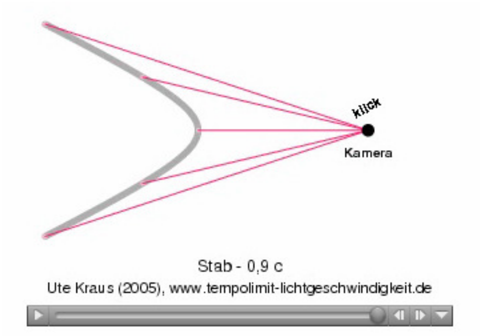
Wie sieht ein Gitter aus, wenn sich längs der Sichtlinie von der Kamera entfernt oder auf sie zu bewegt?

Filmmaterial:

- Verbiegung eines Gitters bei Näherung und Entfernung



- Graphisches Schema zur Verbiegung des Stabes (bei Bedarf)

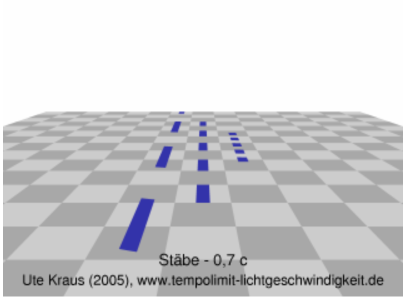


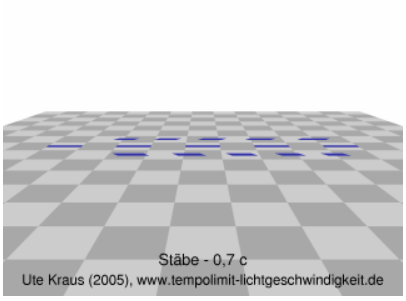
TEIL 2: Scheinbare Geschwindigkeit

MICHA

Filmmaterial:

- Stabbewegung (Näherung und Entfernung) als Wiederholung, aber nun unter dem Aspekt Geschwindigkeit (Wechsel der Perspektiven, Betrachtung in Bewegungsrichtung (links) und senkrecht dazu (rechts)





Frage an die Schüler:

Erscheinen Euch die Stäbe gleich schnell?

Antwort:

Je nach Bewegungsrichtung erscheinen die wahrgenommenen Geschwindigkeiten der Bewegung von Körpern unterschiedlich schnell: geradlinige Entfernung erscheint langsamer, geradlinige Näherung schneller

Einteilung der Schüler in zwei Gruppen:

Gruppe 1:

Ein Raumschiff fliegt mit 60% der Lichtgeschwindigkeit an der Sonne vorbei geradewegs auf die Erde zu. Von der Sonne zur Erde sind 150 Millionen Kilometer zurückzulegen. Licht braucht dazu acht Minuten und 18 Sekunden.
Angenommen das Raumschiff passiert um 12:00 Uhr die Sonne, dann sieht ein Zuschauer auf der Erdstation den Vorbeiflug erst um 12:08:18 Uhr, wenn das Licht vom Vorbeiflug eintrifft.

Zu welcher Uhrzeit trifft das Raumschiff über der Erdstation ein?
Wie lange benötigt es folglich von der Sonne bis zur Erde für einen Zuschauer, der es von der Erde aus beobachtet?
Mit welcher Geschwindigkeit scheint sich das Raumschiff zu bewegen?

Antwort:

Das Raumschiff trifft um 12:13:51 Uhr über der Erdstation ein. Der Zuschauer sieht also, wie das Raumschiff in nur 5 Minuten und 33 Sekunden von der Sonne bis zur Erde gekommen ist – scheinbar schneller als Licht, da es sich scheinbar mit einer Geschwindigkeit von150 % der Lichtgeschwindigkeit bewegt.

Gruppe 2:

Ein Raumschiff fliegt mit 60% der Lichtgeschwindigkeit von der Erde geradewegs an der Sonne vorbei. Von der Erde zur Sonne sind 150 Millionen Kilometer zurückzulegen. Licht braucht dazu 8 Minuten und 18 Sekunden.
Angenommen das Raumschiff fliegt um 12:00 Uhr auf der Erde los.

Zu welcher Uhrzeit fliegt das Raumschiff an der Sonne vorbei.
Wann sieht ein Zuschauer auf der Erde den Vorbeiflug an der Sonne?
Mit welcher Geschwindigkeit scheint sich das Raumschiff zu bewegen?

Antwort:

Das Raumschiff fliegt um 12:13:51 an der Sonne vorbei. Da das Licht allerdings 8 Minuten und 18 Sekunden von der Sonne zur Erde benötigt, sieht der Zuschauer auf der Erde den Vorbeiflug erst nach 22 Minuten und 9 Sekunden. Folglich bewegt sich das Raumschiff scheinbar mit einer Geschwindigkeit von 38% der Lichtgeschwindigkeit.

MICHA

→ Moderation der Antworten

MICHA/ANNA

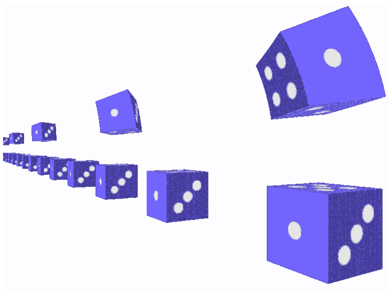
→ je nach Leistungsvermögen Unterstützung bei der Bearbeitung des Arbeitsblattes

TEIL 3: Scheinbare Drehung

ANNA

Filmmaterial:

- Scheinbare Drehung eines Würfels

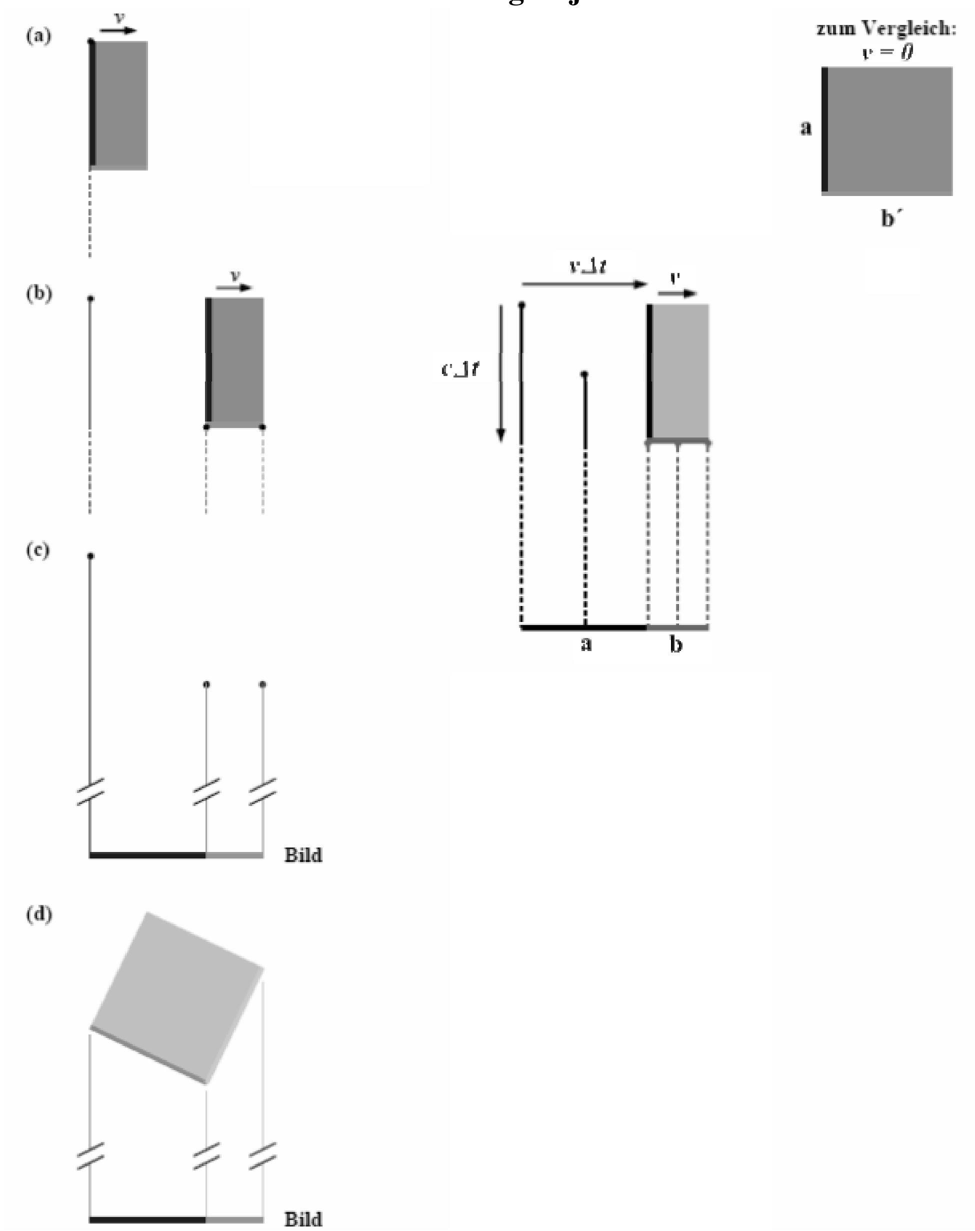


Frage an die Schüler:

Warum ist die Rückseite des bewegten Würfels zu sehen?

MICHA

Skizzen an der Tafel und Anschauungsobjekt realer Würfel:



ANNA
Frage an die Schüler:
Wie lang ist b?

Antwort (je nach Leistungsvermögen gestufte Hilfen):

Längenkontraktion:

$$b = b' \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Frage an die Schüler:
Wie lang ist a?

Zeitraum für die Strecke a:

$$\Delta t = \frac{a}{c} = \frac{b'}{c}$$

Dargestellte Drehseite des Würfels:

$$a = v\Delta t = v\frac{b'}{c}$$

Abschluss:
MICHA/ANNA
Filmmaterial:

- Radfahrer in der Tübinger Altstadt

Bewegte Objekte mit Geschwindigkeiten von nahezu Lichtgeschwindigkeit erscheinen nicht nur verzerrt, sondern auch gedreht, so dass eigentlich *Nicht-Sichtbares* sichtbar werden kann.

Ergänzungen für besonders *Schnelle*:
Herleitung der Gleichungen zur Berechnung der scheinbaren Geschwindigkeit

Betrachtet man eine Lampe, die Lichtblitze aussendet, und sich selbst mit der Geschwindigkeit *v* auf einen Detektor zu bewegt. Der Lichtblitz, der zum Zeitpunkt $t_0 = 0$ zum Detektor in der Entfernung x ausgesandt wird, erreicht den Detektor D zum Zeitpunkt t_1:

$$t_1 = \frac{x}{c}$$

In dem folgenden Zeitraum Δt bewegt sich die Lampe weiter auf den Detektor zu (evtl. Skizze an der Tafel)

Frage an die Schüler:
Welche Strecke legt die Lampe in dieser Zeit zurück? Wie weit ist sie noch von dem Detektor entfernt?

Antwort:
Zurückgelegte Strecke:

$$x_1 = \Delta t \cdot v$$

Entfernung zwischen Detektor und Lampe:

$$x - x_1 = x - \Delta t \cdot v$$

Frage an die Schüler:
Zu welchem Zeitpunkt erreicht ein von diesem Punkt ausgesandter Lichtblitz den Detektor?

Antwort:

$$t_2 = \Delta t + \frac{(x - \Delta t \cdot v)}{c}$$

Frage an die Schüler:
Wie lange hat das Objekt zu Zurücklegen der Strecke benötigt?
Antwort:

$$t_2 - t_1 = \Delta t + \frac{(x - \Delta t \cdot v)}{c} - \frac{x}{c} = \Delta t\left(1 - \frac{v}{c}\right)$$

Anhand dieser Informationen lässt sich die scheinbare Geschwindigkeit *V* berechnen, aus dem Quotienten der zurückgelegten Strecke und dafür benötigten Zeit:

$$V = \frac{\Delta t \cdot v}{t_2 - t_1} = \frac{v}{1 - \frac{v}{c}}$$

Frage an die Schüler:
Ist die scheinbare Geschwindigkeit stets größer als die reale Geschwindigkeit v, kleiner oder identisch groß, wenn sich die Lampe wie in diesem Fall geradlinig auf den Detektor zu bewegt?

Antwort:
Aufgrund des Zusammenhangs der für die scheinbare Geschwindigkeit V dargestellt ist, ist diese immer größer als die reale

Aufgabe für die Schüler:
Eine Lampe, die Lichtblitze aussendet, entfernt sich längs der Sichtlinie mit Geschwindigkeit v von dem Detektor. Wie schnell scheint sie zu sein? Können auch wegfliegende Objekte beliebig schnell aussehen oder gibt es für ihre scheinbare Geschwindigkeit eine obere Grenze?

Lösung:

Die wegfliegende Lampe scheint sich mit $V = \dfrac{v}{1+\dfrac{v}{c}}$ vom Betrachter zu entfernen. Seine scheinbare Geschwindigkeit ist immer kleiner als die halbe Lichtgeschwindigkeit.