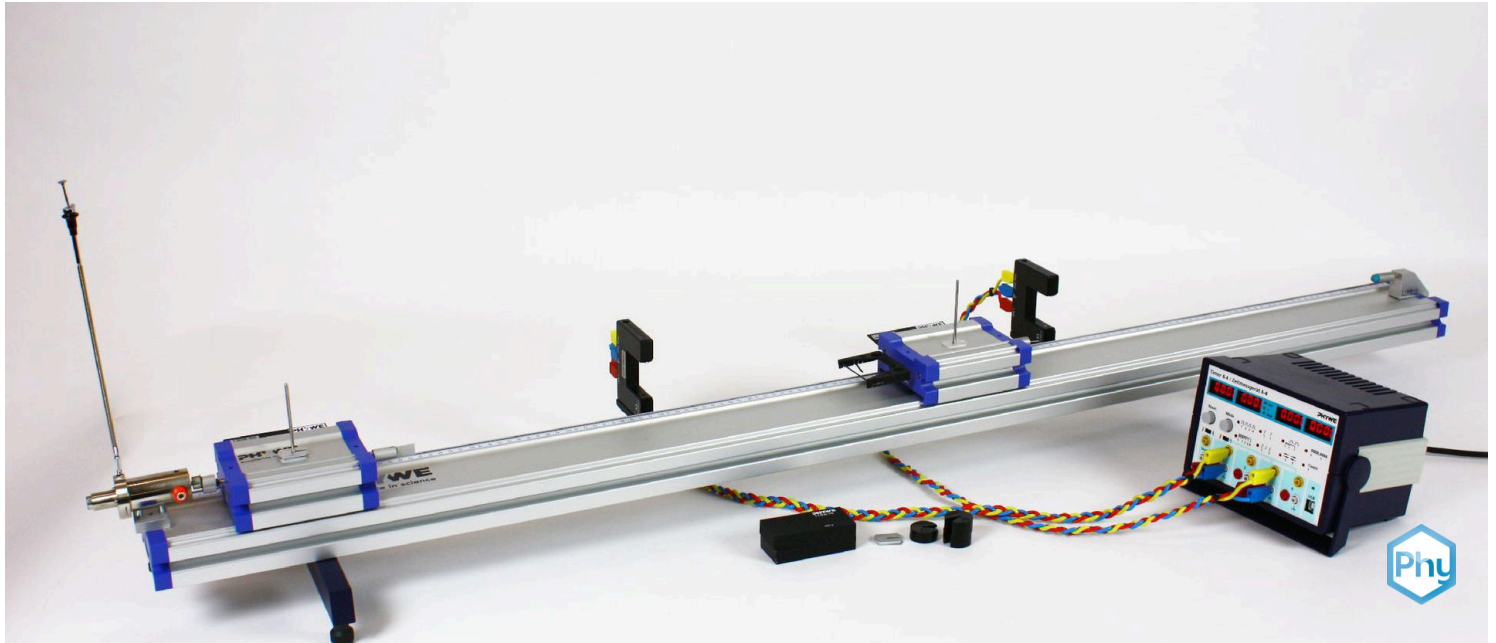


Impulserhaltung beim zentralen elastischen Stoß mit der Rollenfahrbahn und Zeitmessgerät 4-4



Physik

Mechanik

Energieerhaltung & Impuls



Schwierigkeitsgrad

mittel



Gruppengröße

2



Vorbereitungszeit

10 Minuten



Durchführungszeit

20 Minuten

This content can also be found online at:


<http://localhost:1337/c/5f116b3926112d0003db5dfd>

PHYWE

Allgemeine Informationen

Anwendung

PHYWE



Versuchsaufbau

Als Kraftstoß auf einen Körper wird die durch eine Kraft F in einer kurzen Zeit t bewirkte Impulsänderung bezeichnet. Der Impuls p ist dabei als das Produkt aus Kraft und Zeit definiert und bleibt, wenn keine Reibungsverluste auftreten und der Stoß elastisch ist, erhalten.

Dies bedeutet, dass in einem geschlossenen System aus verschiedenen Körpern letztere zwar Impuls übertragen oder aufnehmen können, der Gesamtimpuls des Systems aber zeitlich und betragsmäßig konstant und die Energie somit eine Erhaltungsgröße ist.

Sonstige Informationen (1/2)

PHYWE

Vorwissen



Das grundlegende Konzept eines elastischen Stoßes und der klassischen Mechanik sollten im Unterricht bereits behandelt worden sein.

Prinzip



Stoßen zwei Wagen elastisch aneinander, so übertragen sie sich gegenseitig einen Impuls und bewegen sich anschließend mit veränderten Impulsen weiter.

Dabei kann sich auch die Richtung der Bewegungen umkehren, der Gesamtimpuls des Systems vor dem Stoß bleibt jedoch nach dem Stoß erhalten:

$$p_1 + p_2 = p'_1 + p'_2$$

Sonstige Informationen (2/2)

PHYWE

Lernziel



Verläuft der Stoß vollständig elastisch, so bleibt auch die kinetische Energie des Systems erhalten:

$$E_{kin} = E'_{kin}.$$

Aufgaben



1. Bestimmung der Impulse vor und nach dem elastischen Stoß eines fahrenden Wagens mit einem ruhenden Wagen.
2. Bestimmung der Impulse vor und nach dem elastischen Stoß zweier fahrender Wagen mit derselben Bewegungsrichtung.
3. Bestimmung der Impulse vor und nach dem elastischen Stoß zweier fahrender Wagen mit entgegengesetzter Bewegungsrichtung.

Sicherheitshinweise

PHYWE

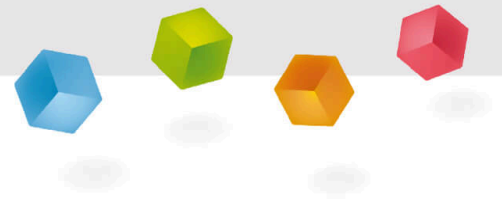
Für diesen Versuch gelten die allgemeinen Hinweise für das sichere Experimentieren im naturwissenschaftlichen Unterricht.

Material

Position	Material	Art.-Nr.	Menge
1	Rollenfahrbahn, Aluminium, l = 1,5 m	11305-00	1
2	Messwagen, saphirgelagert	11306-00	2
3	Blende für Messwagen Demo-Rollenfahrbahn b=100mm	11308-00	2
4	Gabel mit Stecker	11202-08	1
5	Gummiband für Gabel mit Stecker, 10 Stück	11202-09	1
6	Platte mit Stecker	11202-10	1
7	Nadel mit Stecker	11202-06	1
8	Röhrchen mit Stecker	11202-05	1
9	Plastilina, 10 Stangen	03935-03	1
10	Gewicht (400 g) für Messwagen	11306-10	2
11	Schlitzgewicht, schwarzlackiert, 10 g Bauart PHY	02205-01	4
12	Schlitzgewicht, schwarzlackiert, 50 g Bauart PHY	02206-01	3
13	Endhalter für Rollenfahrbahn	11305-12	1
14	Startvorrichtung für Rollenfahrbahn	11309-00	1
15	Haltemagnet mit Stecker	11202-14	1
16	Gabellichtschranke compact	11207-20	2
17	Halter für Lichtschranke	11307-00	2
18	PHYWE Zeitmessgerät 4 - 4	13604-99	1
19	Verbindungsleitung, 32 A, 1000 mm, rot Experimentierkabel, 4 mm Stecker	07363-01	2
20	Verbindungsleitung, 32 A, 1000 mm, gelb Experimentierkabel, 4 mm Stecker	07363-02	2
21	Verbindungsleitung, 32 A, 1000 mm, blau Experimentierkabel, 4 mm Stecker	07363-04	2
22	Kompaktwoage OHAUS CR2200, 2.200 g : 1 g	48914-00	1
23	Schlitzgewicht, blank, 1 g	03916-00	10
24	Schlitzgewicht, silberbronziert, 10 g Bauart PHY	02205-02	4
25	Schlitzgewicht, silberbronziert, 50 g Bauart PHY	02206-02	3

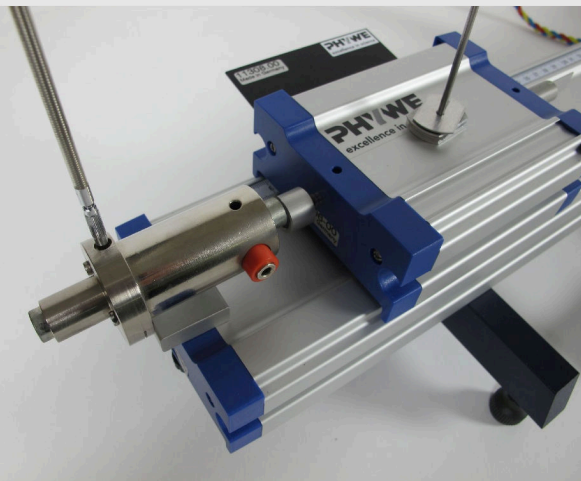
PHYWE

Aufbau und Durchführung



Aufbau (1/5)

PHYWE



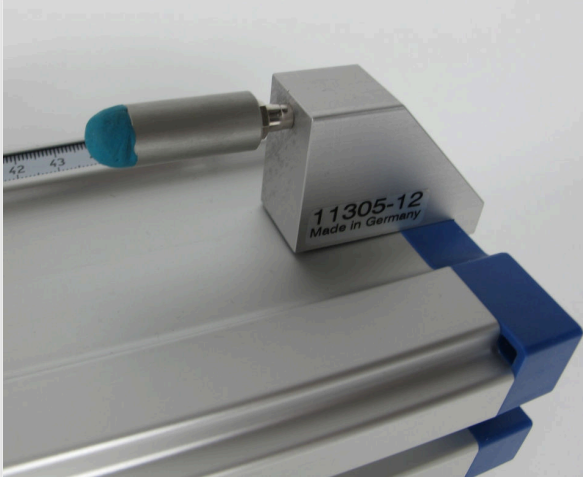
Startvorrichtung für Stoß

1. Die Fahrbahn ist mit den drei Stellschrauben an den Füßen möglichst genau horizontal auszurichten.
2. An dem linken Ende der Bahn ist eine Startvorrichtung anzubringen.

Beachten Sie, dass zum Start des Wagens mit Anfangsimpuls die Startvorrichtung so montiert werden muss, dass der Wagen von dem Stempel einen Kraftstoß erhält.

Aufbau (2/5)

PHYWE



Endhalter mit Plastilina

3. An den Endhalter am rechten Ende der Bahn wird ein mit Plastilina gefülltes Röhrchen gesteckt, um den Wagen ohne harten Stoß abzubremesen.

4. Die beiden Gabellichtschranken werden mit den Lichtschrankenhaltern an der Fahrbahn montiert und ca. bei den Markierungen für 50 cm und 100 cm positioniert. Die Lichtschranke, welche sich näher an der Startvorrichtung befindet, wird als Lichtschranke 1, die andere als Lichtschranke 2 bezeichnet.


Aufbau (3/5)

PHYWE



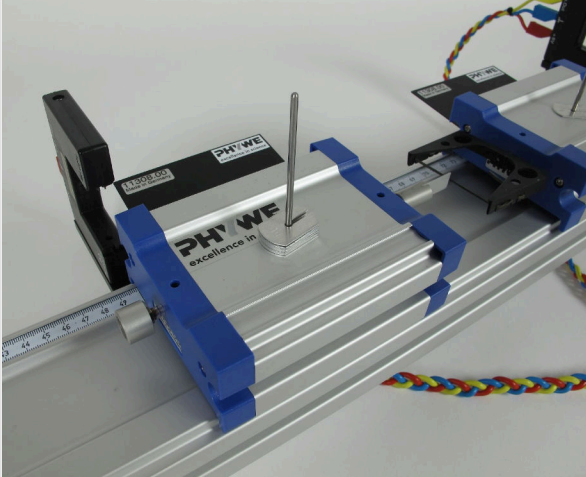
Anschließen der Lichtschranken

5. Lichtschranke 1 wird mit den Buchsen in Feld „1“, Lichtschranke 2 mit den Buchsen in Feld „3“ des Zeitmessgeräts verbunden. Dabei werden die gelben Buchsen der Lichtschranken mit den gelben Buchsen des Messgerätes verbunden, die roten mit den roten und die blauen Buchsen der Lichtschranken mit den weißen Buchsen des Zeitmessgerätes

6. Die beiden Schiebeschalter am Zeitmessgerät werden zur Wahl der Triggerflanke in die rechte Position „fallende Flanke“ () gebracht.

Aufbau (4/5)

PHYWE



Elastischer Stoß nach der Lichtschranke

7. Die beiden Messwagen werden auf die Fahrbahn gesetzt.

- Der linke Wagen, welcher näher an der Startvorrichtung ist (im Folgenden als Wagen 1 mit Geschwindigkeit v_1 bezeichnet), wird mit dem Haltemagneten mit Stecker in Richtung der Startvorrichtung und mit der Platte mit Stecker in Fahrtrichtung bestückt.

Aufbau (5/5)

PHYWE




Abgeschlossender Stoß

- In die Seiten des rechten Wagens (Wagen 2 mit v_2) werden die Gabel mit Gummiband in Richtung von Wagen 1 und die Nadel mit Stecker dem Endhalter zugewandt eingesteckt.
- In beide Wagen werden die Blenden für Messwagen ($b = 100 \text{ mm}$) in die Seite eingeklinkt, auf der sich die Gabellichtschranken befinden sollen.

Durchführung (1/6)

PHYWE

1. Für die Durchführung aller Messungen ist das Zeitmessgerät auf die Betriebsart 6 „Stoß“ () zu schalten. Dabei sind nur die Steuereingänge 1 und 3 aktiv.

Es werden an jeder Lichtschranke bis zu zwei Abschattzeiten gemessen.

Die Unterbrechungszeiten an Lichtschranke 1 werden auf den ersten beiden Anzeigen, die Zeiten von Lichtschranke 2 auf den hinteren beiden Anzeigen ausgegeben.

Die erste Unterbrechung einer Lichtschranke wird jeweils auf der linken Anzeige, die zweite auf der rechten Anzeige ausgegeben.

2. Zu Beginn der Messung sind immer die Massen der Wagen mittels der Waage zu bestimmen.

Für kleine Korrekturen (besonders, wenn gleichgroße Massen erwünscht sind) eignen sich die 1-g-Schlitzgewichte.

Durchführung (2/6)

PHYWE

3. Vor Beginn jedes Stoßversuchs ist die Taste „Reset“ zum Zurücksetzen der Anzeigen zu betätigen.

4. Aus allen Abschattzeiten t_i sind mit der Blendenlänge $b = 100 \text{ mm}$ immer die Geschwindigkeiten $v_i = b / t_i$ zu bestimmen.

Da die Geschwindigkeiten vektorielle Größen sind, muss auf die Vorzeichen der Beträge geachtet werden. Alle Geschwindigkeiten, die v_1 entgegengerichtet sind, haben ein zu v_1 entgegengesetztes Vorzeichen.

5. Damit die verschiedenen Messdaten der Wagen unterschieden werden können, sind die Abschattzeiten vor dem Stoß mit t_1 und t_2 bzw. nach dem Stoß mit t_1' und t_2' zu bezeichnen.

Selbige Nomenklatur ist für die daraus berechneten Geschwindigkeiten und Impulse zu verwenden.

Durchführung (3/6)

PHYWE

a) Wagen 1 in Bewegung, Wagen 2 ruht:

1. Lichtschranke 1 sollte ungefähr bei Fahrbahnmarkierung 50 cm, Lichtschranke 2 bei 100 cm stehen.
2. Wagen 1 wird in die Startvorrichtung gestellt, Wagen 2 wird zwischen beiden Lichtschranken positioniert. Es ist darauf zu achten, dass Wagen 1 die Lichtschranke komplett durchfahren hat, wenn er Wagen 2 berührt. Außerdem muss der Stoß komplett abgeschlossen sein, bevor die Blende von Wagen 2 die Lichtschranke 2 erreicht.

Durchführung (4/6)

PHYWE

3. Wagen 1 wird mit der Startvorrichtung in Richtung von Wagen 2 beschleunigt. Dabei bekommt er eine Anfangsgeschwindigkeit v_1 und stößt Wagen 2, welcher mit der Geschwindigkeit v_2 weiterfährt.

Unterscheiden sich die Massen der Wagen, fährt Wagen 1 mit Geschwindigkeit v'_1 hinterher oder wird reflektiert. Die Anzeigen des Zeitmessgeräts liefern von links nach rechts: $(t_1/-/t'_2/t'_1)$ bzw. $(t_1/t'_1/t'_2/-)$.

4. Die Messung wird für verschiedene Wagenmassen und Massenverhältnisse wiederholt.

Durchführung (5/6)

PHYWE

b) Wagen 1 und Wagen 2 in Bewegung, gleiche Richtung:

1. Lichtschranke 1 sollte ungefähr bei Fahrbahnmarkierung 30 cm, Lichtschranke 2 bei 100 cm stehen.
2. Wagen 1 wird in die Startvorrichtung gestellt, Wagen 2 wird zwischen beiden Lichtschranken positioniert.
3. Wagen 2 erhält einen kleinen Kraftstoß mit der Hand in Richtung des Endhalters, bevor Wagen 1 mit dem Starter in Bewegung gesetzt wird. Der Stoß muss abgeschlossen sein, bevor Wagen 2 die Lichtschranke 2 erreicht hat ($v_1 > v_2$). Die Anzeigen des Zeitmessgeräts liefern von links nach rechts: $(t_1 / - / t'_2 / t'_1)$.
4. Die Messung für verschiedene Wagenmassen und -verhältnisse wiederholen.

Durchführung (6/6)

PHYWE

c) Wagen 1 und Wagen 2 in Bewegung, entgegengesetzte Richtung:

1. Lichtschranke 1 sollte ungefähr bei Fahrbahnmarkierung 40 cm, Lichtschranke 2 bei 100 cm stehen.
2. Die Wagen werden auf gegenüberliegenden Seiten außerhalb der Lichtschranken positioniert und bekommen beide eine Anfangsgeschwindigkeit. Dazu können beide Wagen mit der Hand angestoßen werden oder Wagen 1 wird mit der Startvorrichtung beschleunigt.

Alternativ kann der Endhalter durch eine zweite Startvorrichtung ausgetauscht werden, sodass der Versuch unter reproduzierbaren Bedingungen erfolgen kann.

3. Der Stoß zwischen beiden Wagen darf erst erfolgen, wenn sie die Lichtschranken komplett durchfahren haben. Anschließend entfernen sich die Wagen voneinander und durchlaufen die Lichtschranken erneut. Die Anzeigen des Zeitmessgeräts liefern von links nach rechts: $(t_1 / t'_1 / t_2 / t'_2)$.
4. Die Messung für verschiedene Wagenmassen und -verhältnisse wiederholen.

Auswertung (1/18)

PHYWE

Messbeispiel 1 mit gleicher Richtung, $m_1 = m_2, v_1 \neq, v_2=0$

m_1 in kg	t_1 in s	v_1 in m/s	p_1 in kg·m/s	m_2 in kg	t_2' in s	v_2' in m/s	p_2' in kg·m/s
0,4	0,166	0,602	0,241	0,4	0,175	0,571	0,229
0,54	0,198	0,505	0,273	0,54	0,211	0,474	0,256
0,8	0,242	0,413	0,331	0,8	0,265	0,377	0,302
$p_2' - p_1$ in kg·m/s		E_{kin} in kg·m ² /s ²	E_{kin}' in kg·m ² /s ²	$E_{kin}' - E_{kin}$ in kg·m ² /s ²		δ	
-0,012		0,0726	0,0653	-0,0073		0,949	
-0,017		0,0689	0,0606	-0,0082		0,938	
-0,029		0,0683	0,057	-0,0113		0,913	

Auswertung (2/18)

PHYWE

Messbeispiel 1 mit gleicher Richtung, $m_1 > m_2, v_1 \neq, v_2=0$

m_1 in kg	t_1 in s	v_1 in m/s	p_1 in kg·m/s	m_2 in kg	t_2' in s	v_2' in m/s	p_2' in kg·m/s
0,8	0,174	0,575	0,46	0,4	0,135	0,741	0,296
1	0,172	0,581	0,581	0,4	0,126	0,794	0,317
1,2	0,159	0,629	0,755	0,4	0,111	0,901	0,36
t_1' in s	v_1' in m/s	p_1' in kg·m/s	$(p_1' + p_2') - p_1$ in kg·m/s	E_{kin} in kg·m ² /s ²	E_{kin}' in kg·m ² /s ²	$E_{kin}' - E_{kin}$ in kg·m ² /s ²	δ
0,535	0,187	0,15	-0,014	0,132	0,124	-0,008	0,964
0,411	0,243	0,243	-0,021	0,169	0,156	-0,013	0,947
0,327	0,306	0,367	-0,027	0,237	0,218	-0,019	0,946

Auswertung (3/18)

PHYWE

Messbeispiel 1 mit gleicher Richtung, $m_1 < m_2$, $v_1 \neq 0$, $v_2 = 0$

m_1 in kg	t_1 in s	v_1 in m/s	p_1 in kg·m/s	m_2 in kg	t_2 in s	v_2 in m/s	p_2 in kg·m/s
0,4	0,16	0,625	0,25	0,8	0,252	0,397	0,317
0,4	0,161	0,621	0,248	1	0,299	0,334	0,334
0,4	0,162	0,617	0,247	1,2	0,342	0,292	0,351

t_1 in s	v_1 in m/s	p_1 in kg·m/s	$(p_1' + p_2') - p_1$ in kg·m/s	E_{kin} in kg·m ² /s ²	E_{kin}' in kg·m ² /s ²	$E_{kin}' - E_{kin}$ in kg·m ² /s ²	δ
0,697	-0,143	-0,057	0,01	0,078	0,067	-0,011	0,864
0,462	-0,216	-0,087	-0,001	0,077	0,065	-0,012	0,887
0,392	-0,255	-0,102	0,002	0,076	0,064	-0,012	0,887

Auswertung (4/18)

PHYWE

Der Impuls p eines Körpers der Masse m kann mithilfe seiner Geschwindigkeit v berechnet werden:

$$p = m \cdot v \quad (1)$$

Bei einem zentralen Stoß zweier Massen m_1 und m_2 mit den Impulsen $p_1 = m_1 \cdot v_1$ und $p_2 = m_2 \cdot v_2$ vor dem Stoß sowie $p_1' = m_1' \cdot v_1'$ und $p_2' = m_2' \cdot v_2'$ nach dem Stoß gilt der Impulserhaltungssatz:

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2' \quad (2)$$

Ist die Geschwindigkeit v_2 vor dem Stoß nicht bekannt, kann sie aus den anderen Geschwindigkeiten und Massen berechnet werden:

$$v_2 = \frac{m_1 v_1' + m_2 v_2' - m_1 v_1}{m_2} \quad (3)$$

Auswertung (5/18)

PHYWE

Bei elastischen Stößen bleibt neben dem Gesamtimpuls p auch die kinetische Energie E_{kin} des Gesamtsystems erhalten. Der Energieerhaltungssatz für die kinetische Energie vor und nach dem Stoß lautet:

$$\frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2 = \frac{1}{2}m_1v_1'^2 + \frac{1}{2}m_2v_2'^2. \quad (4)$$

Mit den beiden Erhaltungssätzen (2) und (4) lassen sich die Geschwindigkeiten nach dem Stoß v_1' und v_2' aus den Anfangsgeschwindigkeiten v_1 und v_2 berechnen:

$$v_1' = \frac{(m_1 - m_2)v_1 + 2m_2v_2}{m_1 + m_2}, \quad (5)$$

$$v_2' = \frac{(m_2 - m_1)v_2 + 2m_1v_1}{m_1 + m_2}. \quad (6)$$

Aus den Gleichungen (5) und (6) folgt für die Differenz der Geschwindigkeiten:

$$v_2' - v_1' = v_1 - v_2 \quad (7)$$

Auswertung (6/18)

PHYWE

Die Differenz kann als eine Relativgeschwindigkeit aufgefasst werden, mit der Wagen 1 und Wagen 2 sich einander nähern bzw. sich voneinander entfernen. Die Relativgeschwindigkeit vor und nach dem Stoß ist gleich groß. Da im Versuch die Stöße nie vollkommen elastisch sind, wird der Erhaltungssatz für die kinetische Energie verletzt.

Damit verlieren die Gleichungen (5)–(7) ihre strenge Gültigkeit. Man kann nun eine Stoßzahl δ (auch Restitutionskoeffizient genannt) einführen, die ein Maß für die Elastizität des Stoßes darstellt:

$$\delta = \frac{v_1' - v_2'}{v_2 - v_1}. \quad (8)$$

Diese Stoßzahl nimmt im Fall eines vollkommen elastischen Stoßes den Wert 1 und im Fall eines unelastischen Stoßes den Wert 0 an. Hiermit lassen sich die Gleichungen (5) und (6) überführen in

$$v_1' = \frac{(m_1 - \delta m_2)v_1 + (1 + \delta)m_2v_2}{m_1 + m_2}, \quad (9)$$

$$v_2' = \frac{(m_2 - \delta m_1)v_2 + (1 + \delta)m_1v_1}{m_1 + m_2}. \quad (10)$$

Auswertung (7/18)

PHYWE

Vergleicht man die berechneten Geschwindigkeiten mit den Beispielmesswerten aus dem Messbeispiel 1 und 3, erkennt man deutlich, dass diese unter Einbeziehung unelastischer Effekte durch die Stoßzahl sehr gut übereinstimmen.

a) Wagen 1 in Bewegung, Wagen 2 ruht:

$m_1 = m_2$: Sind die Massen der beiden Wagen gleich groß, überträgt der stoßende Wagen 1 seinen Impuls p_1 vollständig auf Wagen 2 und bleibt stehen.

$m_1 > m_2$: Ist die Masse des stoßenden Wagens 1 größer als die Masse des ruhenden Wagens, wird nur ein Teil des Impulses übertragen. Wagen 1 bewegt sich nach dem Stoß weiter, jedoch mit kleinerer Geschwindigkeit als vor dem Stoß.

$m_1 < m_2$: Wenn die Masse des stoßenden Wagens 1 kleiner als die Masse des ruhenden Wagens ist, wird ein Impuls übertragen, der größer ist, als der Impuls von Wagen 1 vor dem Stoß war. Aus der Impulserhaltung folgt, dass Wagen 1 beim Stoß mit Wagen 2 reflektiert wird.

Auswertung (8/18)

PHYWE

Messbeispiel 2 mit gleicher Richtung, $m_1 = m_2, v_1 \neq 0, v_2 = 0$

m_1 in kg	t_1 in s	v_1 in m/s	p_1 in kg·m/s	t_1' in s	v_1' in m/s	p_1' in kg·m/s
0,4	0,114	0,877	0,351	0,286	0,35	0,14
0,54	0,114	0,877	0,474	0,283	0,353	0,191
0,8	0,108	0,926	0,741	0,233	0,429	0,343
m_2 in kg	t_2' in s	v_2' in m/s	p_2' in kg·m/s	t_2 in s	v_2 in m/s	p_2 in kg·m/s
0,4	0,117	0,855	0,342	–	0,327	0,131
0,54	0,116	0,862	0,466	–	0,338	0,183
0,8	0,11	0,909	0,727	–	0,412	0,33

Auswertung (9/18)

PHYWE

Messbeispiel 2 mit gleicher Richtung $m_1 > m_2, v_1 \neq, v_2 \neq 0$

m_1 in kg	t_1 in s	v_1 in m/s	p_1 in kg·m/s	t_1' in s	v_1' in m/s	p_1' in kg·m/s
0,6	0,175	0,571	0,343	0,33	0,303	0,182
0,8	0,239	0,418	0,335	0,424	0,236	0,189
1,2	0,186	0,538	0,645	0,28	0,357	0,429
m_2 in kg	t_2' in s	v_2' in m/s	p_2' in kg·m/s	t_2 in s	v_2 in m/s	p_2 in kg·m/s
0,4	0,163	0,613	0,245	–	0,211	0,084
0,4	0,21	0,476	0,19	–	0,111	0,044
0,4	0,15	0,667	0,267	–	0,125	0,05

Auswertung (10/18)

PHYWE

Messbeispiel 2 mit $m_1 < m_2, v_1 \neq, v_2 \neq 0$

m_1 in kg	t_1 in s	v_1 in m/s	p_1 in kg·m/s	t_1' in s	v_1' in m/s	p_1' in kg·m/s
0,4	0,161	0,621	0,248	0,3	0,333	0,133
0,4	0,16	0,625	0,25	0,383	0,261	0,104
0,4	0,161	0,621	0,248	0,537	0,186	0,074
m_2 in kg	t_2' in s	v_2' in m/s	p_2' in kg·m/s	t_2 in s	v_2 in m/s	p_2 in kg·m/s
0,6	0,179	0,559	0,335	–	0,367	0,22
0,8	0,191	0,524	0,419	–	0,342	0,273
1	0,211	0,474	0,474	–	0,3	0,3

Auswertung (11/18)

PHYWE

b) Wagen 1 und Wagen 2 in Bewegung, gleiche Richtung:

1. Haben die Geschwindigkeiten der beiden Wagen dieselbe Richtung, so erteilt der schnellere Wagen 1 dem langsameren Wagen 2 einen Impuls.

2. $m_1 = m_2$: Sind die Massen der beiden Wagen gleich, haben sie nach dem Stoß ihre Geschwindigkeitsbeträge vertauscht:

$$v'_2 = v_1 \text{ und } v'_1 = v_2 \quad (11)$$

3. $m_1 > m_2$ und $m_1 < m_2$: Bei dem Stoß überträgt Wagen 1 einen Teil seines Impulses. Wagen 2 bewegt sich mit erhöhter Geschwindigkeit weiter, Wagen 1 reduziert seine Geschwindigkeit oder kehrt gar die Bewegungsrichtung um.

4. Aus den Messungen sind jeweils der Impuls p_2 und die Anfangsgeschwindigkeit v_2 nach Gleichungen (2) und (3) zu berechnen.

Auswertung (12/18)

PHYWE

Messbeispiel 3 mit entgegengesetzter Richtung $m_1 = m_2, v_1 > 0, v_2 < 0$

m_1 in kg	t_1 in s	v_1 in m/s	p_1 in kg·m/s	t_1' in s	v_1' in m/s	p_1' in kg·m/s
0,4	0,218	0,459	0,183	0,238	-0,420	-0,168
0,54	0,253	0,395	0,213	0,31	-0,323	-0,174
0,8	0,241	0,415	0,332	0,279	-0,358	-0,287
m_2 in kg	t_2' in s	v_2' in m/s	p_2' in kg·m/s	t_2 in s	v_2 in m/s	p_2 in kg·m/s
0,4	0,202	-0,495	-0,198	0,241	0,415	0,166
0,54	0,248	-0,403	-0,218	0,285	0,351	0,189
0,8	0,208	-0,481	-0,385	0,313	0,319	0,256

Auswertung (13/18)

PHYWE

Messbeispiel 3 mit entgegengesetzter Richtung $m_1 = m_2, v_1 > 0, v_2 < 0$

$(p_1' + p_2') - (p_1 + p_2)$ in kg·m/s	E_{kin} in kg·m ² /s ²	E_{kin}' in kg·m ² /s ²	$E_{kin}' - E_{kin}$ in kg·m ² /s ²	δ
0,012	0,091	0,07	-0,021	0,876
0,02	0,086	0,061	-0,025	0,843
0,022	0,161	0,092	-0,069	0,757

Auswertung (14/18)

PHYWE

Messbeispiel 3 mit entgegengesetzter Richtung $m_1 > m_2, v_1 > 0, v_2 < 0$

m_1 in kg	t_1 in s	v_1 in m/s	p_1 in kg·m/s	t_1' in s	v_1' in m/s	p_1' in kg·m/s
0,54	0,188	0,532	0,287	0,437	-0,229	-0,124
0,8	0,238	0,42	0,336	0,648	-0,154	-0,123
0,8	0,234	0,427	0,342	0,527	-0,190	-0,152
m_2 in kg	t_2' in s	v_2' in m/s	p_2' in kg·m/s	t_2 in s	v_2 in m/s	p_2 in kg·m/s
0,4	0,209	-0,478	-0,191	0,16	0,625	0,25
0,4	0,177	-0,565	-0,226	0,15	0,667	0,267
0,54	0,22	-0,455	-0,245	0,185	0,541	0,292

Auswertung (15/18)

PHYWE

Messbeispiel 3 mit entgegengesetzter Richtung $m_1 > m_2, v_1 > 0, v_2 < 0$

$(p_1' + p_2') - (p_1 + p_2)$ in kg·m/s	E_{kin} in kg·m ² /s ²	E_{kin}' in kg·m ² /s ²	$E_{kin}' - E_{kin}$ in kg·m ² /s ²	δ
0,031	0,122	0,092	-0,030	0,845
0,033	0,134	0,098	-0,036	0,833
0,044	0,129	0,093	-0,036	0,828

Auswertung (16/18)

PHYWE

Messbeispiel 3 mit entgegengesetzter Richtung $m_1 < m_2, v_1 > 0, v_2 < 0$

m_1 in kg	t_1 in s	v_1 in m/s	p_1 in kg·m/s	t_1' in s	v_1' in m/s	p_1' in kg·m/s
0,4	0,217	0,461	0,184	0,168	-0,595	-0,238
0,4	0,216	0,463	0,185	0,188	-0,532	-0,213
0,54	0,249	0,402	0,217	0,184	-0,543	-0,293
m_2 in kg	t_2' in s	v_2' in m/s	p_2' in kg·m/s	t_2 in s	v_2 in m/s	p_2 in kg·m/s
0,54	0,189	-0,529	-0,286	0,365	0,274	0,148
0,8	0,287	-0,348	-0,279	0,594	0,168	0,135
0,8	0,217	-0,461	-0,369	0,508	0,197	0,157

Auswertung (17/18)

PHYWE

Messbeispiel 3 mit entgegengesetzter Richtung $m_1 < m_2, v_1 > 0, v_2 < 0$

$(p_1' + p_2') - (p_1 + p_2)$ in kg·m/s	E_{kin} in kg·m ² /s ²	E_{kin}' in kg·m ² /s ²	$E_{kin}' - E_{kin}$ in kg·m ² /s ²	δ
0,011	0,118	0,091	-0,027	0,878
0,015	0,091	0,068	-0,024	0,863
0,016	0,128	0,095	-0,033	0,858

Auswertung (18/18)

PHYWE

c) Wagen 1 und Wagen 2 in Bewegung, entgegengesetzte Richtung:

$m_1 = m_2$: Bei entgegengesetzten Bewegungsrichtungen und gleichen Massen kehren die Wagen beim Stoß ihre Bewegungsrichtung um und ihre Geschwindigkeitsbeträge sind nach dem Stoß vertauscht.

$m_1 > m_2$ und $m_1 < m_2$: Für ungleiche Massen der Wagen werden sie reflektiert und kehren ihre Bewegungsrichtungen um.

Anmerkungen (1/2)

PHYWE

1. Um Wagen 1 mit der Startvorrichtung zu beschleunigen, wird der Stempel so weit hineingedrückt, bis er in eine Arretierung einrastet. Da die Startvorrichtung drei verschieden große Stufen bereitstellt, muss darauf geachtet werden, dass bei jedem Versuch dieselbe Arretierung verwendet wird, um beim Auslösen der Startvorrichtung auch dieselbe Kraft zu übertragen.
2. Es ist darauf zu achten, dass das Gummiband beim Stoß nicht so weit zurückgedrängt wird, dass die Platte des einen Wagens die Gabel des anderen Wagens berührt.
3. Zu geringe Geschwindigkeiten führen insbesondere bei der Verwendung älterer Gummibänder, die keine große Federkraft mehr besitzen, zu größeren Energieverlusten.

Anmerkungen (2/2)

PHYWE

4. Der korrekte Sitz beider Blenden an den Wagen sollte vor jeder Messung kontrolliert werden, da sie durch das abrupte Abbremsen verrutschen können.
5. Die Plastilina sollte zwischendurch gegebenenfalls nachmodelliert werden, damit der Aufprall des Wagens immer bestmöglich abgefedert wird.
6. Die Wagen bewegen sich nicht völlig reibungsfrei, es bleibt eine Restreibung und der Gesamtimpuls nimmt geringfügig um etwa 6 % ab. Ein anderer Grund für die Abnahme des Gesamtimpulses nach dem Stoß kann auch darin liegen, dass der Stoß nicht exakt zentral erfolgt.

Es entstehen dabei Komponenten des Impulses, die senkrecht auf der Richtung der Bahn stehen, die aber bei der Auswertung nicht berücksichtigt werden. Auch ist der Stoß nicht vollständig elastisch: Die kinetische Energie nimmt hier um bis zu 25 % ab.