

Impulskanone DM343-2S

Die Impulskanone wurde von dem US-amerikanischen Physiker und Astrophysiker Stirling Colgate erfunden. Er wollte damit die Ausbreitung der Stoßwelle in einer Supernova-Explosion demonstrieren.

Die Impulskanone besteht im Wesentlichen aus 4 übereinander liegenden Gummibällen mit unterschiedlichen Massen und Durchmessern, die auf einer Kunststoffachse angeordnet sind. Der unterste Gummiball ist fest mit der Achse verbunden, während die nächsten beiden Gummibälle zwar auf der Achse beweglich sind, diese aber nicht verlassen können. Lediglich der oberste, kleinste Gummiball ist vollständig auf der Achse beweglich.

Wie funktioniert die Impulskanone?

Zunächst wird der kleine, lose Gummiball auf die Achse geschoben. Dann hält man die Achse an ihrem oberen, freien Ende zwischen Daumen und Zeigefinger und lässt die Impulskanone an einer freien Stelle auf einen Tisch oder den Boden fallen.

Der kleine Gummiball fliegt nach dem Aufprall der Impulskanone auf den Untergrund mit einem Vielfachen der Fallendgeschwindigkeit v_0 nach oben hin weg und kann dabei enorme Höhen erreichen.

Was ist die Physik, die dahintersteckt?

Um die Impulskanone zu verstehen, benötigen wir zwei wichtige Erhaltungsgrößen aus der Mechanik: Den Impuls \vec{p} und die Energie E .

Hinweis: Wir gehen bei unserer Betrachtung von kollinearen, zentralen Stößen aus. Die Richtung der dynamischen Größen wird daher nur durch das entsprechende Vorzeichen repräsentiert, und wir können bei der Darstellung auf die Vektorpfeile verzichten.

Zu Beginn des freien Falls besitzt die Impulskanone ihre maximale potentielle Energie E_p . Während der beschleunigten Bewegung (Gravitationskraft) nach unten – in diese Richtung zeigt auch unsere Geschwindigkeitsachse – nimmt die potentielle Energie E_p ab und die kinetische Energie E_{kin} der Impulskanone zu, deren Betrag beim Aufprall am größten ist: $E_{kin,0} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_0^2$.

Bei diesem Aufprall auf den Untergrund wird der unterste Gummiball verformt und (fast) die gesamte kinetische Energie E_{kin} gespeichert. Während sich der Gummiball wieder ausdehnt, wird diese Energie (fast) vollständig wieder freigesetzt und der unterste Gummiball bewegt sich nach oben. Diesen (idealisierten) Prozess, bei dem kein Teil der Energie beim Aufprall in Wärme oder andere Energieformen umgewandelt wird, nennen wir einen elastischen Stoß.

Der Einfachheit halber betrachten wir im Folgenden eine Impulskanone, die nur aus zwei Gummibällen besteht. Die Erklärung ist aber auf beliebig viele Kugeln erweiterbar.

Während sich nun der unterste Gummiball (1) bereits mit der Geschwindigkeit $-v_0$ nach oben bewegt, befindet sich der darüber liegende Gummiball (2) mit der Geschwindigkeit v_0 gerade noch in der Abwärtsbewegung. Die beiden Gummibälle werden daher ebenfalls in einem elastischen Stoß aufeinander prallen. Bei diesem elastischen Stoß sind die wichtigen physikalischen Größen Impuls p und kinetische Energie E_{kin} erhalten, d.h., der gesamte Impuls p und die gesamte kinetische Energie E_{kin} der beiden Gummibälle (1) und (2) vor und nach dem Stoß sind gleich:

$$p_{1v} + p_{2v} = p_{1n} + p_{2n} \rightarrow -m_1 \cdot v_0 + m_2 \cdot v_0 = m_1 \cdot v_{1n} + m_2 \cdot v_{2n} \quad (\text{Impulserhaltung})$$

$$E_{kin,1v} + E_{kin,2v} = E_{kin,1n} + E_{kin,2n} \rightarrow \frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot v_0^2 + \frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot v_0^2 = \frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot v_{1n}^2 + \frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot v_{2n}^2 \quad (\text{Energieerhaltung}).$$

Die kinetischen Verhältnisse, d.h. die Geschwindigkeiten der Gummibälle nach dem Stoß werden maßgebend durch das Massenverhältnis m_1/m_2 der beiden Gummibälle (1) und (2) bestimmt. Ungeachtet der wahren Massen

der Gummibälle in unserer Impulskanone wollen wir für diese Erklärung annehmen, dass der (unterste, größte) Gummiball (1) dreimal so schwer ist wie der darüber liegende Gummiball (2): $m_1/m_2 = 3$. Dann ist seine Geschwindigkeit nach dem Stoß $v_{1n} = 0$ und der leichtere Gummiball (2) bewegt sich dann mit der zweifachen Aufprallgeschwindigkeit $-2v_0$ nach oben.

Bei mehreren Gummibällen wiederholt sich dieser Vorgang entsprechend der Anzahl an Gummibällen (n).

Bezogen auf unsere vorliegende Impulskanone mit vier Gummibällen bedeutet dies für den obersten, kleinsten Gummiball dann eine Fluchtgeschwindigkeit $4v_0$ des Vierfachen der Aufprallgeschwindigkeit v_0 und damit eine (theoretische) 16-fache kinetische Energie im Vergleich zu seiner kinetischen Energie $E_{kin,(4),0}$ beim Aufprall. Die tatsächlich erreichbare Höhe des obersten, kleinsten Gummiballs (4) hängt neben der wahren Massenverteilung der Gummibälle auch von dem Energiebetrag ab, der bei den verschiedenen, in Wirklichkeit unelastischen Stoßprozessen in andere Energieformen umgewandelt wird.

Experiment:

1. An einer Wand im Physikraum wird ein Maßband mit ausreichender Länge (idealerweise bis zur Decke) angebracht.
2. Die Impulskanone wird in geringem Abstand vor dem Maßband so am oberen freien Ende der Achse gehalten, dass sich die Unterkante des untersten, größten Gummiballs in einer Ausgangshöhe h_A von ca. 10cm über dem Boden bzw. dem Tisch befindet.
3. Die Lage der Unterkante des untersten, größten Gummiballs wird auf dem Maßband markiert und in die Tabelle eingetragen.
4. Die Impulskanone wird in dieser Höhe nach dem Auspendeln senkrecht nach unten fallen gelassen. Hierbei muss darauf geachtet werden, dass die Impulskanone keine zusätzliche Anfangsgeschwindigkeit nach unten erhält und der wegfliegende Gummiball nicht an der Decke anstößt.
5. Die Maximalhöhe des obersten, kleinsten Gummiballs wird auf dem Maßband markiert und ebenfalls in die Tabelle eingetragen.
6. Für die gleiche Ausgangshöhe werden noch zwei weitere Maximalhöhen bestimmt.
7. Die Schritte 2 bis 6 werden für ca. 9 weitere Ausgangshöhen h_A wiederholt.
8. Aus den drei Werten der Maximalhöhe wird für jede Ausgangshöhe h_A der Mittelwert h_M bestimmt und ebenfalls in die Tabelle eingetragen.
9. Anschließend werden die Werte für die Ausgangshöhe h_A und den Mittelwert h_M in ein Diagramm eingezeichnet.

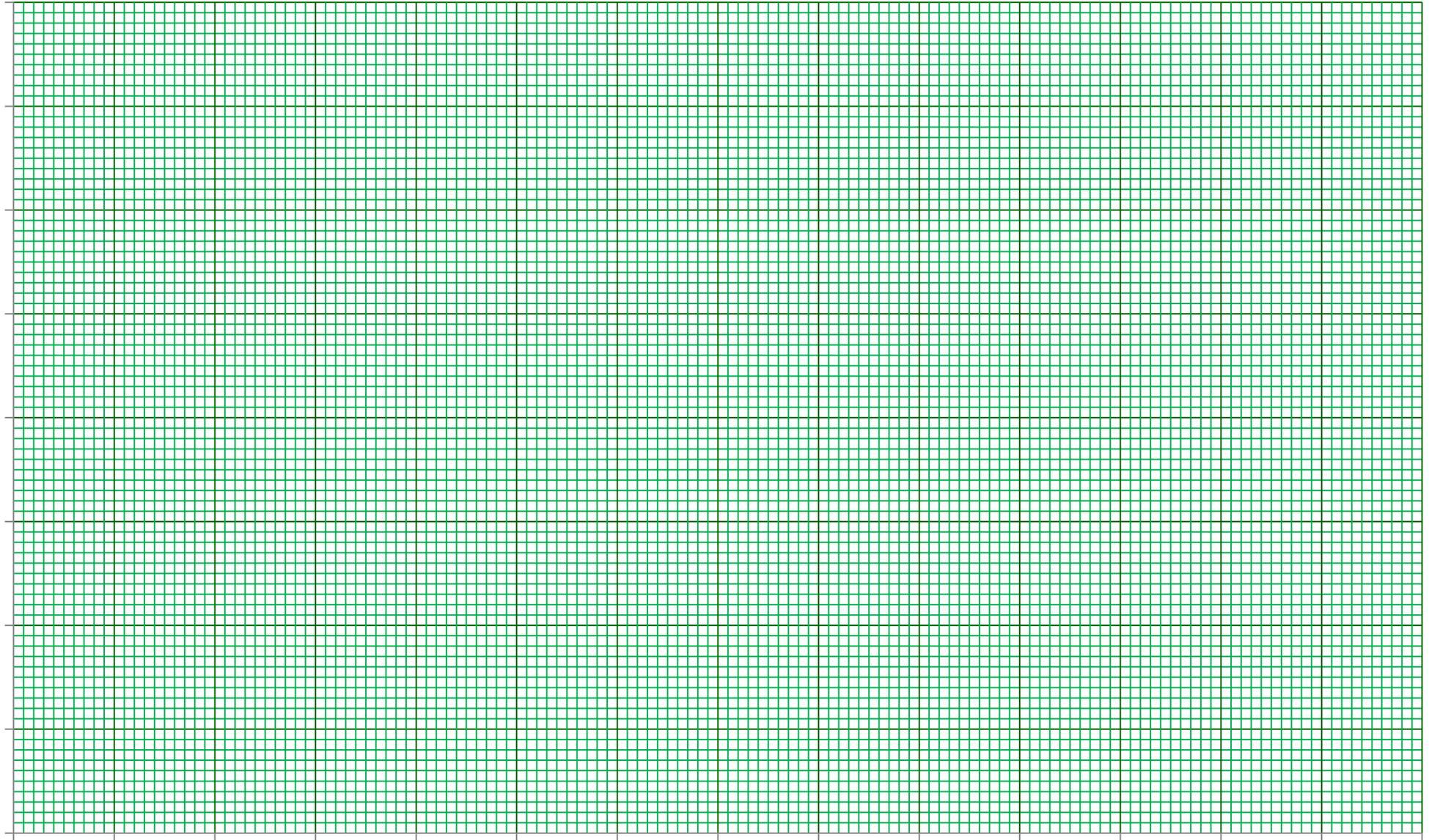
Ausgangshöhe h_A/m	Maximalhöhe h_1/m	Maximalhöhe h_2/m	Maximalhöhe h_3/m	Mittelwert der Maximalhöhe h_M/m

Frage:

Wie hängen die Ausgangshöhe h_A und der Mittelwert h_M zusammen?

Maximalhöhen mit der Impulskanone

Mittelwert der Maximalhöhe h_M/m



Ausgangshöhe h_A/m

Notwendige physikalische Grundlagen zum Verständnis der Impulskanone:

- Koordinatensysteme
- Die Vektoreigenschaft dynamischer Größen (hier besonders die Geschwindigkeit \vec{v})
- Die geradlinige, beschleunigte Bewegung
- Die physikalische Größe Energie E und ihre unterschiedlichen Energieformen (hier besonders die potentielle Energie E_p und die kinetische Energie E_{kin})
- Die physikalische Größe Impuls \vec{p}
- Wichtige Erhaltungssätze aus der Physik: Impulserhaltungssatz und Energieerhaltungssatz