

SPACE-SHUTTLE

Sie haben sich sicher auch schon gefragt, wie eine Rakete selbst im praktisch luftleeren Raum beschleunigen kann, obwohl sie sich dort scheinbar an nichts „abstossen“ kann. Der Trick ist eigentlich ganz einfach: Sie stösst sich an ihren eigenen Auspuffgasen ab!

Da eine Rakete im luftleeren und schwerelosen Raum ein mustergültiges Beispiel für ein abgeschlossenes System darstellt, können wir für diese Aufgabe guten Gewissens die Impulserhaltung anwenden.

ZIELE

- Sie verstehen das Prinzip des Raketenantriebs.
- Sie berechnen die momentane Beschleunigung der Rakete mit Hilfe des Impulserhaltungssatzes.
- Sie beschreiben die Geschwindigkeitsentwicklung der Rakete qualitativ richtig.

ZEIT: Sie bearbeiten die Aufgabe während 30 Minuten.

AUFGABENSTELLUNG

Ein Space Shuttle beschleunigt, indem in den Triebwerken Treibstoff verbrannt und die „Abgase“ durch eine Düse mit hoher Geschwindigkeit nach hinten ausgestossen werden. Beim Start beträgt die Masse des Shuttles und der Antriebsraketen ca. 2'000 t. In der Beschleunigungsphase werden pro Sekunde 4 t Treibstoff mit einer Geschwindigkeit von 3.5 km/s ausgestossen.

Bestimmen Sie die Startbeschleunigung des Shuttles und überlegen Sie sich, wie sich die Geschwindigkeit in der Folge entwickelt.

ANLEITUNG

1. Zeichnen Sie je eine Skizze für die Situationen unmittelbar vor und eine Sekunde nach der Zündung der Rakete. Wählen Sie sinnvolle Bezeichnungen für die auftretenden Geschwindigkeiten und die Massen der Abgase und der Rakete mit dem restlichen Treibstoff.
2. Stellen Sie algebraische Ausdrücke für die Impulse vor und nach der Zündung auf.
3. Leiten Sie mit der Impulserhaltung einen algebraischen Ausdruck für die Geschwindigkeit der Rakete nach einer Sekunde her. Wie berechnet man daraus die Beschleunigung in der ersten Sekunde?
4. Berechnen Sie die Startbeschleunigung und die Geschwindigkeit des Shuttles nach der ersten Sekunde numerisch. (Lösung: 7 m/s², 7 m/s)
5. Überlegen Sie sich, welche Grössen in den Formeln von Schritt 3 sich im Lauf der Zeit ändern. Wie ändert sich dadurch die Beschleunigung?
6. Skizzieren Sie in den beiden Diagrammen den zeitlichen Verlauf der Beschleunigung und der Geschwindigkeit der Rakete. Wann ist die Beschleunigungsphase abgeschlossen?



7. Nach dem Abbrennen der Hauptantriebsraketen beträgt die Restmasse noch rund 1'000 t. Wie gross ist die Beschleunigung kurz vor Abschluss dieser Brennphase? (Lösung: 14 m/s²)