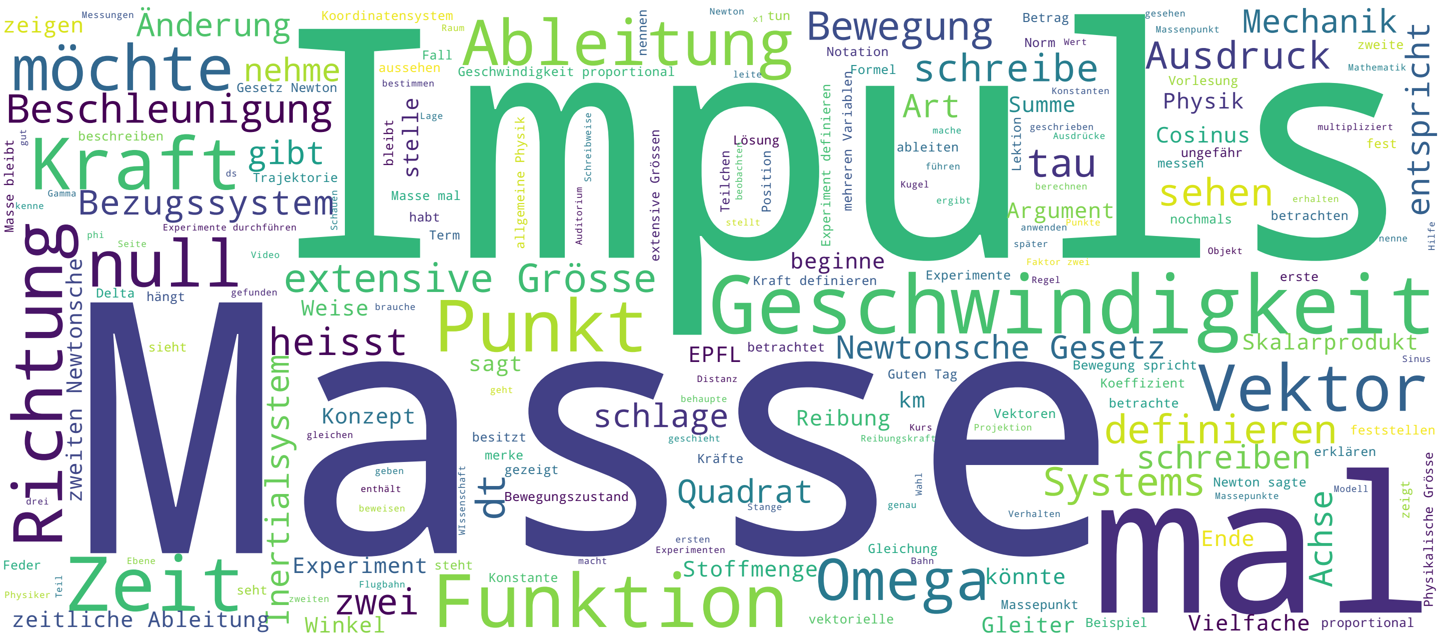
Les lois de Newton

Mécanique, cours 3.1

Jean-Philippe Ansermet

http://go.epfl.ch/traite-meca-1-3



Video

Les lois de Newton

Guten Tag, wilkommen an der Vorlesung für allgemeine Physik der EPFL. In dieser Lektion werde ich die Basis der Newtonsche Dynamik vorstellen. Sowie Newton, definiere ich zuerst den Impuls mit Hilfe von der Analogie der Stoffmenge. Damit werde ich den Bewegungszustand eines Systems definieren. Da ich dann eine Physikalische Grösse habe um den Bewegungszustand zu definieren, werde ich zwei Gesetze formulieren: das Inertialgesetz und das Aktionsprinzip.

Notes

Summary

0m 03s

Définition : la quantité de matière

- La masse : une grandeur ***extensive***
- Une grandeur ***conservée,*** système fermé/ouvert

Mécanique | 2013 5

Ich beginne mit der Definition der Stoffmenge. Diese Menge nennt mann normalerweise "Masse". Die Masse ist eine "extensive" Grösse. "Extensiv" bedeutet, dass wenn man ein System betrachtet, dass aus zwei Unterteilen entsteht und wenn man die Masse dieser Unterteilen kennt, die Masse des ganzen Systems die Summe von den beiden ist. Dieser additive Charakter einer physikalischen Grösse nennt man Extensivität. Die Stoffmenge, die Masse, ist also eine extensive Grösse. Die Masse ist auch eine Erhaltungsgrösse. Was ich damit meine ist, dass wenn sich die Masse eines Systems geändert hat, muss Materie entweder das System verlassen haben oder dazu gekommen sein. Sie können an einer Rakete denken, die Antriebsstoff verbraucht, und deren Masse sich also verändert. Die globale Masse bleibt aber unverändert. Man kann dann ein System als geschlossen bezeichnen wenn keine Materie hinaus oder hinein gehen kann. Das Gegenteil nennt man ein offenes System. Das heisst, wenn es mit seiner Umgebung Materie austauschen kann. Ist ein System geschlossen, bleibt die Masse konstant, wie auch immer sich das System entwickelt. Man sagt auch : "die Masse bleibt erhalten".

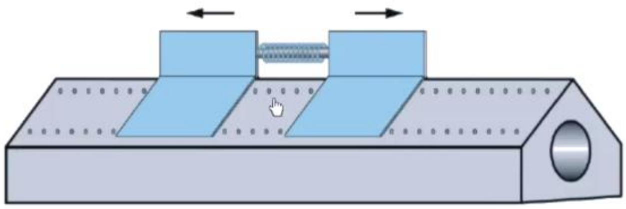
Notes

Summary

0m 44s

Définition : la quantité de matière

- La masse : une grandeur ***extensive***
- Une grandeur ***conservée,*** système fermé/ouvert
- Le Système International (SI) définit une masse étalon
- On se donne une expérience virtuelle pour mesurer une masse



Mécanique | 2013 8

Um dem internationalen Einheitssystem treu zu bleiben, muss ich schliesslich ein Massestandard definieren. Das heisst, dass ich auch Kopien und Vervielfachungen des Massestandardes besitze. Dann muss ich auch ein Experiment definieren, mit dem ich entscheiden kann, ob eine gewisse Masse ein Vielfaches meines Standards ist. Als Physiker ist es wichtig Experimente zu definieren um ein gewisses Konzept zu erklären, auch wenn sie nur virtuell sind. Diese Art und Weise die WIssenschaft zu erklären wurde durch EInstein verbreitet. Hier möchte ich sie anwenden. Ich will ein Experiment definieren, dass man vielleicht nie durchführen wird weil es zu viele Schwierigkeiten geben könnte, aber mit dem wir das Konzept der Massen Gleichheit begreifen können. Ich schlage Ihnen folgendes vor : Sie haben eine Lutkissenbahn sowie diese, in der Luft fliesst und durch diese Löcher hinaus kommt. Damit kann man die Reibung, die mit dem gleiten entsteht, übersehen. Ein Gleiter wird ein Vielfaches unseres Massenprototyps sein und der andere wird die Masse sein, die man bestimmen will. Nun stelle ich mir vor, dass beide mit einer komprimierten Feder zusammen halten und, dass ich diese Feder vorsichtig gehen lassen kann.

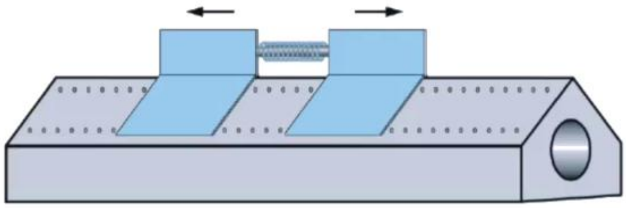
Notes

Summary

2m 23s

Définition : la quantité de matière

- La masse : une grandeur ***extensive***
- Une grandeur ***conservée,*** système fermé/ouvert
- Le Système International (SI) définit une masse étalon
- On se donne une expérience virtuelle pour mesurer une masse



Mécanique | 2013 8

Das ganze System ist damit zuerst in einem ruhigen Zustand verglichen mit der Bahn, die als Bezugssystem gilt. Sind beide Massen die gleichen, müsste ich feststellen, dass sich die Gleiter in beide Richtungen mit derselben Geschindigkeit bewegen.

Notes

Summary

4m 08s

Da ich die Masse definiert habe, möchte ich jetzt den Impuls definieren. Ich will, dass diese Physikalische Grösse den Bewegungszustand beschreiben kann. Diese Grösse muss vektoriell sein. Ich muss eine Bewegungsrichtung und eine Bewegungsintensität haben. Darum muss es ein vektorielle Grösse sein. Es muss auch noch eine extensive Grösse sein. Dies heisst, dass wenn ich zwei kleinere Systeme habe, die gewisse Impulse besitzen, der Impuls des ganzen Systems die Summe der Impulse von den kleineren Systeme sein wird. Also brauche ich eine extensive Grösse. Nun komme ich zum ersten Newtonsche Gesetz.

Notes

Summary

4m 32s

Première loi de Newton

Newton sagte : "Ein Körper verharrt im Zustand der Ruhe oder der gleichförmigen Translation, sofern er nicht durch einwirkende Kräfte zur Änderung seines Zustands gezwungen wird." Zuerst beachte ich, dass man von "Bewegung" spricht und, dass man deshalb ein Bezugssytem definieren muss. Wir werden mit der Übung merken, dass dieses Newtonsche Gesetz uns eigentlich eine gewisse Art Bezugssysteme definiert. Wir werden es übrigens später nennen. Ich merke auch, dass das Konzept eines kraftfreien Körpers, als trivial gilt. Wir werden sehen, dass sobald man mit beschleunigten Bezugssystemen arbeitet, die Lage etwas komplizierter wird. Zuletzt muss man eine aussergewöhnliche Evolution aus Sicht der wissenschaflichen Geschichte feststellen; wir haben jetzt die Beobachtung theoretisch erklärt, die Galileus damals schon machte, dass ein kraftfreier Massepunkt sich geradlinig bewegt. Galileus nannte dies "die natürliche Bewegung". Man sucht den Grund für eine existierende Bewegung nicht mehr.

Notes

Summary

5m 30s

Définition : référentiel d'inertie

- Un référentiel dans lequel la première loi de Newton est vérifiée
- Une question de degré de précision
- Le laboratoire pour observer le lancer d'une craie
- Des étoiles pour le pendule de Foucault

Mécanique | 2013 21

Wir definieren nun ein "Inertialsystem" : ein System in dem das Inertialgesetz stimmt. Dies nennen wir ab jetzt ein Inertialsystem. Ich möchte eine hilfreiche Bemerkung zu diesem Thema machen. Es geht hier nicht um Mathematik, sondern um Physik. Diese Definition haben wir pragmatisch festgelegt. Tatsächlich, wenn man jetzt ein Phenomen betrachten will, wie zum Beispiel die Flugbahn einer Kreide, die man in die Luft wirft, ist das Auditorium ein ziemlich gutes Bezugssystem. Wenn wir uns mit irdischer Dynamik beschäftigen werden, erfahren wir, dass wenn man da etwas sehr präzis messen will, dann müsste man festellen, dass eine leichte Abweichung entsteht. Diese ist winzig und man merkt sie nicht ohne Instrumente. Sie entsteht weil dieses Bezugssystem kein Inertialsystem ist. Man kann auch ein sehr elegantes Experiment durchführen. Das werden wir später tun. Man nennt es ein "Foucault'sches Pendel". Damit kann man innerhalb zehn Minuten sehen, dass dieser Raum wirklich kein Inertialsystem ist. Also hängt die Wahl eines Bezugssystem und damit auch die Entscheidung, ob es sich um ein Inertialsystem handelt oder nicht der Art und Weise von den Messungen die man machen möchte.

Notes

Summary

7m 00s

Ich will jetzt das Konzept einer Kraft definieren. Ich will ein virtuelles Experiment vorstellen, dass eine Kraft definieren kann. Ich behaupte, dass eine Kraft die ich messen will auf ein Massepunkt wirkt. Ich nehme ein Dynamometer und hänge es mithilfe eines Fadens am Massepunkt an, der diese unbekannte Kraft spürt. Ein Blick auf das Dynamometer gibt mir die Intensität der der Kraft und die Richtung des Fadens zeigt die Richtung der Kraft. Ich wiederhole: es ist wichtig, dass diese Grössen, die man einsetzt, durch Experimente definierbar sind. Dies auch wenn das Experiment schwierig ist mit präzision durch zu führen.

Notes

Summary

8m 39s

Deuxième loi de Newton

"Les changements de mouvement sont proportionnels à la force motrice, et se font dans la ligne droite dans laquelle cette force est imprimée à l'objet."

- « force motrice » = (force) × (temps)
- « changement de mouvement » = changement de la quantité de mouvement

$$\frac{d\boldsymbol{p}}{dt} = \boldsymbol{F}$$

Mécanique | 2013 29

Nun komme ich zum zweiten Newtonsche Gesetz. Newton sagte : "Die Änderung der Bewegung ist der Einwirkung der bewegenden Kraft proportional und geschieht nach der Richtung derjenigen geraden Linie, nach welcher jene Kraft wirkt." Wir formulieren jetzt dieses Gesetz von Newton in unserer heutigen Umgangssprache. Zuerst, was man damals "bewengende Kraft" nannte, wird heutzutage als die Kraft mal die Zeit wärend der diese wirkt. Zweitens, wenn Newton von "Änderung der Bewegung" spricht, meint er "Änderung des Bewegungzustands", also des Impuls. Für eine moderne Version des zweiten Newtonsche Gesetzes die man vektoriell ausdrücken will, schreibe ich was hier steht: P ist der Impuls. Ich habe also die zeitliche Ableitung des Impuls gleich Kraft.

Notes

Summary

9m 38s

La masse est une grandeur extensive $\Longrightarrow$
quand le système est k fois plus grand, la masse est k fois plus grande.

La quantité de mouvement est une grandeur extensive $\Longrightarrow$
on doit avoir pour k masses m de même vitesse:
$\boldsymbol{p}(km) = k\boldsymbol{p}(m)$.

Bisher ging ich davon aus, dass eine vektorielle und extensive Grösse existiert, die den Bewegungszustand charakterisiert aber ich kenne ihren Zusammenhang mit der Masse und der Geschwindigkeit noch nicht. Nun präsentiere ich Ihnen ein Argument um Sie zu überzeugen, dass der Impuls die Masse mal die Geschwindigkeit ist. Ich beginne mit der Masse. Dass die Masse, wie auch der Impuls beide extensive Grössen sind spielt hier eine wichtige Rolle. Ich betrachte jetzt ein System einer bestimmten Grösse und, habe davon Vielfache. Diese sind reelle Vielfache mit k ein reeller Koeffizient. Wenn ich die Grösse des Systems k-mal erhöhe, wird sich die Masse k-mal vergrössern weil sie eine extensive Grösse ist. Und für den Impuls werden wir etwas ähnliches beobachten. Man muss also schreiben, dass der Impuls eines Systems, das k-mal eine Masse m besitzt und eine gewisse Geschwindigkeit hat, k-mal grösser ist als der Impuls eines Systems mit Masse m und mit gleicher Geschwindigkeit. Nun merke ich, dass dieser Ausdruck auf beiden Seiten eine Funktion von k hat. Hier haben wir eine einfache Funtion von k. Hier ist p eine Funktion von km und km ist eine Funktion von k.

Notes

Summary

10m 52s

Propriété : quantité de mouvement et masse

La masse est une grandeur extensive $\Longrightarrow$
quand le système est k fois plus grand, la masse est k fois plus grande.

La quantité de mouvement est une grandeur extensive $\Longrightarrow$
on doit avoir pour k masses m de même vitesse:
$\boldsymbol{p}(km) = k\boldsymbol{p}(m)$.

Dérivation par rapport à k : $m\dfrac{\partial \boldsymbol{p}}{\partial m} = \boldsymbol{p}$

$\dfrac{\partial \boldsymbol{p}}{\partial m}$ doit être indépendant de la taille du système.

Mécanique | 2013 34

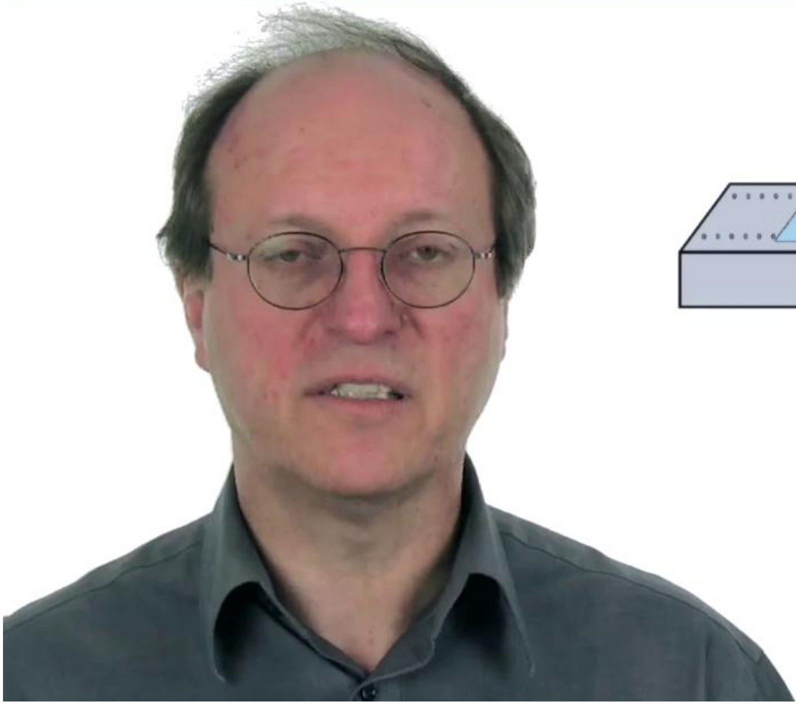
Und ich will die Ableitung berechnen. Ich schreibe es so : an diesem Punkt gibt es eine kleine Schwierigkeit weil ich ein Argument, dass km ist und was ich will, ist p nach diesem Argument abzuleiten und und danach das Argument nach k ableiten. Dies wird mir m geben, die Ableitung des Arguments (km) nach k gibt uns m. Nun haben wir dieses m und jetzt werden wir p nach dem Argument ableiten. Dafür nehme ich k gleich eins. Also schreibe ich d von p durch d von m. Dieser Ausdruck ist rein konventionell. Er kommt vor, sobald man Funktionen mehreren Variablen hat. DIeses ründliche d zeigt, dass es mehreren Variablen sind und hier schreibe ich d(m) um zu zeigen, nach welcher Variable ich ableite, mit allen anderen Variablen die konstant bleiben. Dies ist eine Notation die in der Physik häufig vorkommt. Auf der anderen Seite, muss ich nach k ableiten. p von m hat mit k nichts zu tun, also bleibt p weil die Ableitung von k eins ist. Also gut, jetzt habe ich gefunden, dass p dem m proportional ist mit diesem Faktor. Dieser Koeffizient ist das Verhältnis zwischen zwei extensive Grössen. Dazu weiss ich, dass dieser Koeffizient von der Grösse des Systems unabhängig ist.

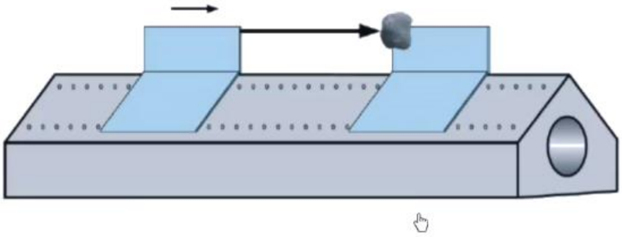
Notes

Summary

12m 50s

Propriété : quantité de mouvement et vitesse





Mécanique | 2013 36

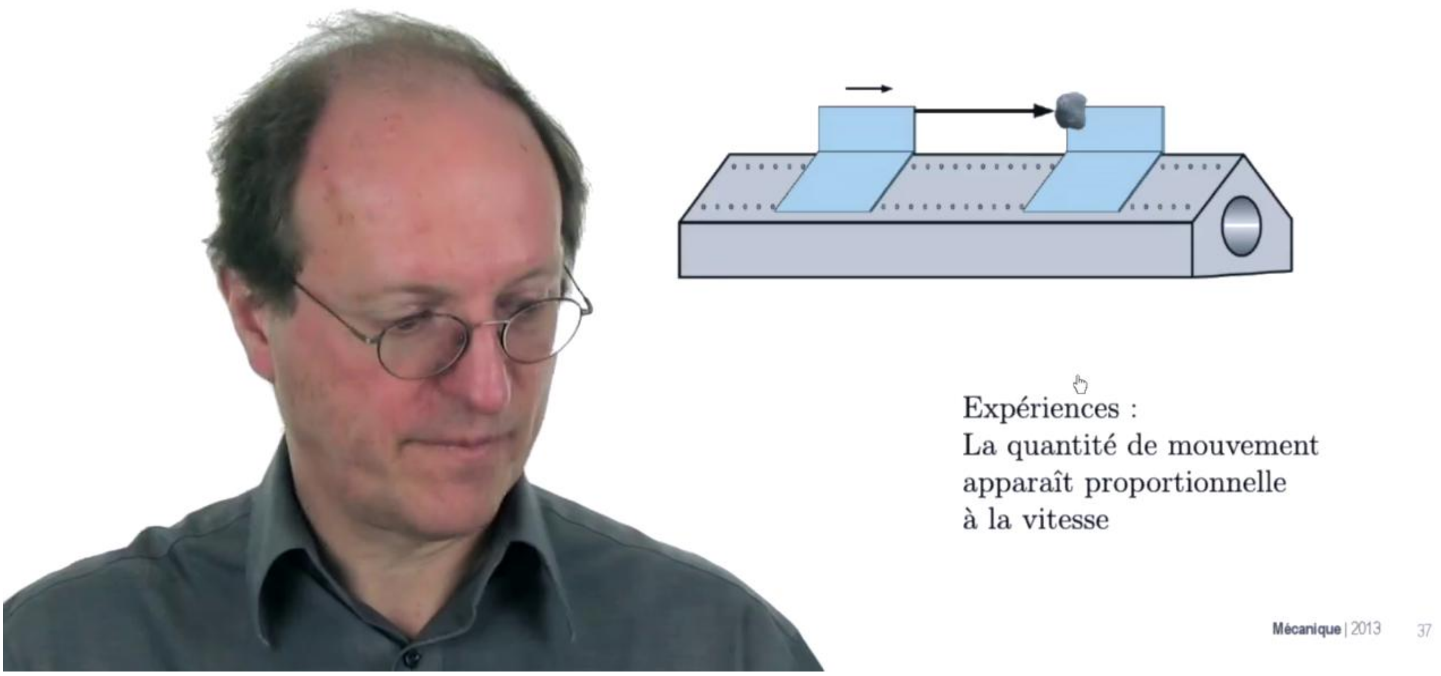
Jetzt habe ich Ihnen gezeigt, dass p gleich m(v) und, dass p einen extensiven Charakter besitzt. Dieser entspricht, dass p der Masse m proportional ist. Nun muss ich Ihnen beweisen, dass p der Geschwindigkeit proportional ist. Ich werde dies tun, aber ich kann es nicht axiomatisch angehen. Ich muss Experimente durchführen und beobachten, dass p der Geschwindigkeit proportional ist. Ich schlage Ihnen dieses Experiment vor, das mehr oder weniger so aussehen würde: ich habe nochmals eine Luftkissenbahn und zwei Gleiter. Dem einen wurde eine Spitze montiert, welche am Gleiter gut fixiert ist, und der andere enthält eine Kugel Knetmasse oder Plastilin, und ich gehe davon aus, dass wärend eines Zusammenstosses den beiden Gleitern, der Spitz sich in die Masse steckt. Am Ende sind beide Systeme also zusammen. Ich betrachte nun Zusammenstösse, durch die beide Gleiter am Ende eine Geschwindigkeit von null gegenüber der Bank, die als Bezugssystem definiert wurde. Zuerst könnte ich zwei gleiche Massen haben, mit gleicher, entgegensetzten Geschwindigkeit. Ich stelle also fest, dass der Impuls null ist. Tatsächlich, wenn beide Systeme zusammenkommen, kommt es zu einem Stillstand. Der Impuls ist null.

Notes

Summary

14m 32s

Propriété : quantité de mouvement et vitesse



Und jetzt beobachte ich, dass wenn ein Gleiter zweimal schwerer wird, muss ich die Geschwindigkeit durch ein Faktor zwei dividieren um den System zum totalen Stillstand zu bringen. In diesem Experiment haben wir nur ein Faktor zwei eingesetzt aber man könnte noch mehr Experimente durchführen und würden dann feststellen, dass der Impuls der Geschwindigkeit proportional ist. Was ich Ihnen gerade erklärt habe hängt von der Art und Weise der Experimente ab und vieles hat sich in der Physik seit Newton geändert. Sie werden später andere Kraftfelder entdecken, mit denen der Impuls anders aussehen wird. In diesem Kurs werden wir ein relativistischer Ausdruck des Impulses besprechen (i.e. Einsteins Theorie), die zu einem anderen Ausdruck der Geschwindigkeit führen wird.

Notes

Summary

16m 26s

Dynamique pour un point matériel

- Conclusion : en dynamique newtonnienne

$$\boldsymbol{p} = m\boldsymbol{v}$$

- Alors la 2ème loi de Newton peut s'écrire :

$$\boldsymbol{F} = m\boldsymbol{a}$$

Nun fasse ich unsere Dynamik des Massepunktes zusammen. Wir haben gezeigt, dass p gleich mv für die Art von Experimenten, die wir besprochen haben. Jetzt leite ich dieser Ausdruck zeitlich ab. Die zeitliche Ableitung der Geschwindigkeit gibt uns die Beschleunigung. Laut dem zweiten Newtonsche Gesetz, ist die zeitliche Ableitung von p die Kraft. Also : die Kraft gleich die Masse mal die Beschleunigung für einen Massepunkt.

Notes

Summary

17m 31s