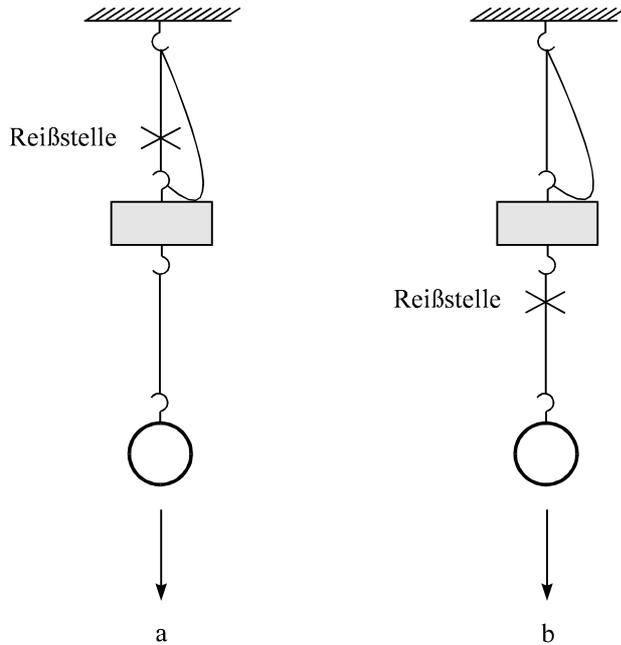


Versuchsnummer: 1166	eingeteilt: LNW 309 S19 F3
Name: Masse am Faden	
neu 19.11.2012	

Trägheit einer hängenden Masse



- Zerreißen eines Fadens
a) bei langsam zunehmendem Zug
b) bei ruckartigem Zug

Wir verwenden als Masse einen Metallzylinder von ca. 2 kg mit je einem Haken an Ober- und Unterseite. Trage- und Zugfaden bestehen aus einer Endlosschleife¹ aus Sternzwirn. Man fertigt eine derartige Schleife, indem man die beiden Enden eines etwa 30 cm langen Zwirnsfadens miteinander verknotet. Als "Handgriff" am Zugfaden dient ein Schlüsselring.

Die "Fangleinen" sind Plastikketten. Vorsicht! Auch diese Ketten können einmal reißen!

Aufgehängt wird die Anordnung an einem Galgen.

Man zieht zunächst langsam, indem man die Hand unter den Anschlag (Stativstab) legt und den Ring mit dem Daumen nach unten drückt. Es reißt der obere Faden, weil er durch Gewicht und Zugkraft stärker als der untere belastet wird.

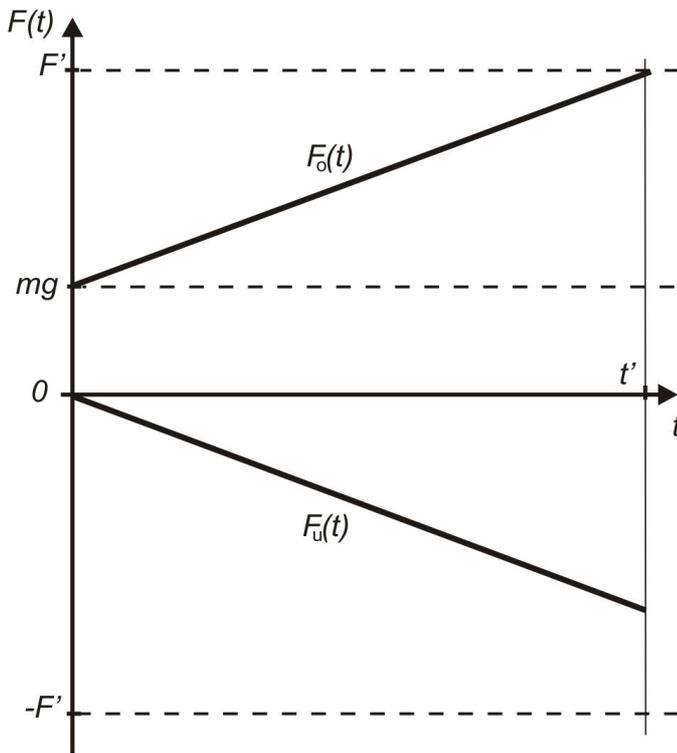
Man ersetzt die eben gerissene Schleife durch eine neue und hängt die Masse wieder daran auf. Der Zugfaden ist derselbe wie zuvor.

Man "zieht" jetzt ruckartig, indem man das Ende eines Stabes durch den Ring steckt und kräftig auf den Stab schlägt. Nun reißt der untere Faden, weil er die zum Beschleunigen der trägen Masse erforderliche große Kraft nicht zu übertragen vermag.

¹ Gesamtlänge \approx 22 cm

Masse am Faden

(zum tieferen Verständnis)



Unter Berücksichtigung einer am unteren Faden angreifenden Kraft vom Betrag F_u sind es 3 Kräfte, welche den Bewegungszustand der schweren Masse beeinflussen: $F_o + F_u - mg = ma$.

Bei lockerem unteren Seil gilt bei ruhender Masse $F_o = mg$. Wird die Zugkraft am unteren Seil ganz allmählich erhöht, dehnen sich zwar beide Seile geringfügig, die Masse bewegt sich aber so langsam, dass im quasistatischen Fall in guter Näherung gilt $a = 0$. Zwangsläufig reißt das obere Seil bei Überschreiten der Zugfestigkeit F' , da es stets eine um mg höhere Kraft übertragen muss. Dieser Vorgang ist in der oberen der beiden Grafiken dargestellt. Zu jedem Zeitpunkt ist die Summe beider Seilkräfte gerade entgegengesetzt gleich der Gewichtskraft der Masse.

Die Vorgänge beim ruckartigen Belasten des unteren Seils sind in der unteren Abbildung auf einer wesentlich feineren Zeitskala dargestellt.

Innerhalb einer sehr kurzen Zeit wächst die Zugkraft $F_u(t)$ rasch an und überschreitet die Zugfestigkeit zum Zeitpunkt t_1 . Während dieses Zeitraums wird die Masse m nach unten beschleunigt, wodurch sich der obere Faden dehnt. Die somit auftretende Längenänderung ist als blaue Funktion $s(t)$ dargestellt. Die Fadendehnung bewirkt ein Anwachsen der Zugkraft $F_o(t)$. Die Geschwindigkeit $v(t_1)$ ergibt sich

$$\text{aus dem Kraftstoß } \int_0^{t_1} F_o(t) - mg + F_u(t) dt = mv_1.$$

Grafisch entspricht diese einerseits der Summe beider grauen Flächen (unterschiedliche Vorzeichen berücksichtigen!) und andererseits dem Anstieg der Kurve $s(t_1)$, die hier einen Wendepunkt hat. Im Zeitintervall t_1 bis t_2 bewegt sich die Masse infolge der Trägheit weiter nach unten und die Fadendehnung F_o wächst noch weiter an! Dadurch wird die Abwärtsbewegung der Masse gebremst.

Wenn bei t_2 die Masse kurzzeitig ruht und der obere Faden noch nicht gerissen ist (was bedeutet, dass beide Fäden reißen könnten!), ist das Größte überstanden, die Masse bewegt sich dann nach oben und schwingt in die Ruhelage aus. Interessant zu

diskutieren, dass gilt $\int_0^{t_1} F_o(t) - mg + F_u(t) dt = -\int_{t_1}^{t_2} F_o(t) - mg dt$ sowie $\int_0^{t_2} F_o(t) - mg dt = -\int_0^{t_1} F_u(t) dt$.

Wie ändert sich die Grafik, wenn man weniger abrupt am unteren Seil zieht? Das untere graue „Dreieck“ erhält mit wachsendem t_1 einen größeren Flächeninhalt. Beide oberen Flächen wachsen ebenfalls, wobei auch F_o höhere Werte annimmt, das obere Seil reißt. Im Extremfall (quasistatisch) gibt es gar keine blaue Fläche und die beiden grauen Flächen werden kongruent (obere Abbildung).