Experiment: Das Federpendel

Ein einfaches Kinderspielzeug: Eine Holzfigur hängt an einer Schraubenfeder. Zieht man an ihr, beginnt sie zu schwingen. Wie lange dauert eine Auf-und-ab-Bewegung? Kann man die Schwingung beschleunigen oder verlangsamen und wenn ja, wie?

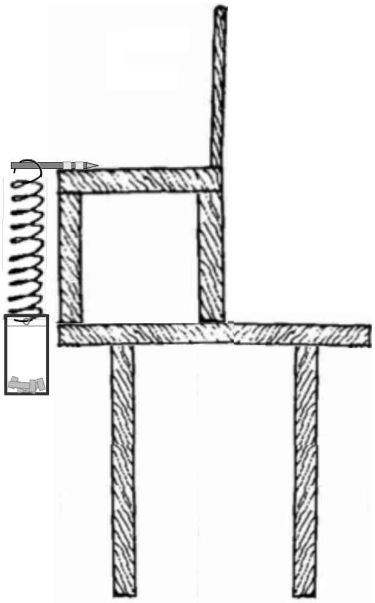
Das Federpendel

Materialien:

- ein Tisch, ein Stuhl und eventuell Bücher o. Ä. zum Beschweren
- Stift (Kugelschreiber o. Ä.)
- Federn (kleine Feder für Versuchsteil 2)
- Plastiktütchen mit Schrauben
- Klebeband
- Waage
- Stoppuhr

Vorbereitung / Aufbau:

- **Tütchen mit Schrauben** wie im Schema rechts aufhängen:
  - Stuhl auf den Tisch stellen
  - Stift mit Klebeband sorgfältig auf dem Stuhl befestigen, bei Bedarf zusätzlich mit Büchern beschweren
  - Feder an den Stift hängen und mit Klebeband fixieren
  - Plastiktütchen mit Schrauben an die Feder hängen



Durchführung (Teil 1):

Zunächst sollen Sie den Verlauf der Schwingung Ihres Pendels qualitativ beobachten. Im zweiten Versuchsteil gehen Sie dann zu quantitativen Messungen über.

- Pendel **auslenken** und **loslassen**
- Schwingungsvorgang genau **beobachten**

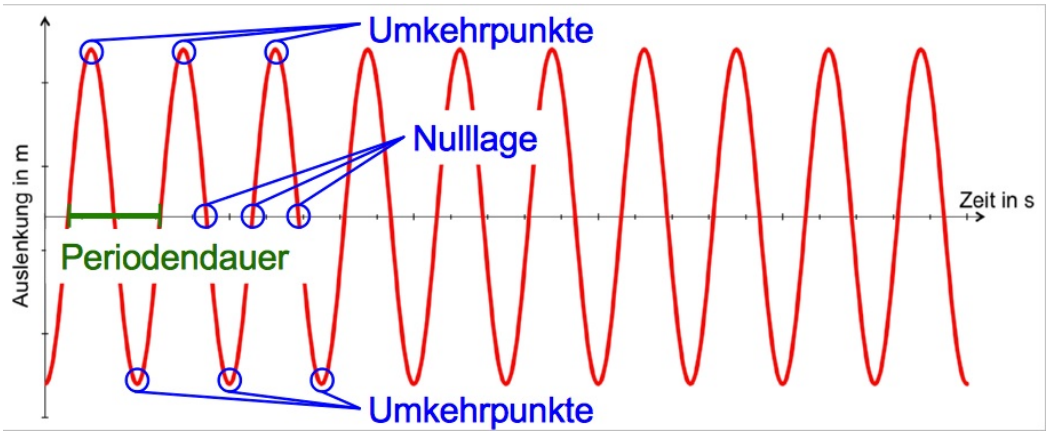
Verlauf der Schwingung

Beobachtung und Auswertung (Teil 1):

Beschreiben Sie, warum das Pendel eine Schwingung ausführt! Welche Kräfte sind die Ursache für die Bewegung? (bei Schwierigkeiten → Tipp 1)

Ist das Pendel in Ruhe in seiner Nulllage, heben sich die nach oben wirkende Federkraft und die nach unten wirkende Erdanziehungskraft gerade gegenseitig auf. Wird das Pendel nach unten ausgelenkt, ist die rücktreibende Kraft der Feder größer als die Erdanziehungskraft und das Pendel wird nach oben beschleunigt. Aufgrund ihrer Trägheit bewegt sich die Masse auch nach Erreichen der Nulllage noch weiter nach oben, sodass die Gewichtskraft größer als die Federkraft wird. Am oberen Umkehrpunkt ist die Differenz zwischen den Beträgen der beiden Kräfte am größten. Von hier an wird das Pendel nach unten beschleunigt und der Bewegungsablauf wiederholt sich in umgekehrter Richtung.

Sie sehen in der nachstehenden Grafik den theoretisch idealen Verlauf der Auslenkung eines Federpendels, das zum Zeitpunkt t = 0 s nach unten ausgelenkt wurde.



- **Markieren** Sie im obigen Diagramm:
  - die Stellen, an denen sich das Pendel an einem **Umkehrpunkt** / in der **Nulllage** befindet
  - die Länge einer **Periode**
  - **Kontrollieren** Sie Ihr Ergebnis anhand der **Musterlösung!**
- Gibt es **Unterschiede** zwischen dem angegeben Kurvenverlauf und der im Experiment beobachtbaren Schwingung? Versuchen Sie, zusammen eine **Erklärung** für etwaige Unterschiede zu finden.

mögliche Unterschiede:
Die Amplitude nimmt im Experiment mit der Zeit ab.
→ Erklärung: Durch Luftreibung, Reibungen im Aufbau und ungewollte Schwingungen wird die für die Pendelschwingung zur Verfügung stehende Energie kleiner, die Amplitude nimmt daher langsam ab.

Untersuchung der Periodendauer

Die Formel zur Berechnung der Periodendauer eines Federpendels lautet:

$$T = 2\pi\sqrt{m/D}$$

Im zweiten Versuchsteil sollen Sie nun untersuchen, wie sich Veränderungen Ihres Aufbaus auf die Periodendauer *T* Ihres Pendels auswirken. Mit Hilfe der Messung dieser Periodendauer *T* können Sie dann die Größe der Federkonstanten *D* bestimmen.

Durchführung und Auswertung (Teil 2):

- Diskutieren Sie: Welchen Einfluss auf die **Periodendauer** Ihrer Schwingung erwarten Sie bei einer Veränderung
  1. der **Auslenkung** zu Beginn der Schwingung?
  2. der **Pendelmasse**?
  3. der **Federkonstante**?
- Finden Sie gemeinsam eine **anschauliche Begründung** für Ihre Hypothesen! (bei Schwierigkeiten → Tipp 2 und 3)

1. Die **Auslenkung** hat keine Auswirkung auf die Periodendauer. Sie steht nicht in der Formel zur Berechnung von *T*. Bei einer größeren Auslenkung vergrößert sich zwar die rücktreibende Beschleunigung, aber auch die Strecke, die das Pendel während einer Periode zurücklegen muss. Beide Effekte heben sich gegenseitig auf.
2. Je größer die **Pendelmasse** ist, desto größer ist auch die Periodendauer. Die Masse des Pendels *m* steht in der Formel zur Berechnung von *T* im Zähler unter Wurzel. Bleibt die anfängliche Auslenkung gleich, so wird bei einer Vergrößerung der Pendelmasse die rücktreibende Beschleunigung kleiner, während die Strecke, die das Pendel zurücklegen muss, gleich bleibt. Daher braucht das Pendel länger, um eine volle Schwingung auszuführen.
3. Je größer die **Federkonstante** ist, desto kleiner ist die Periodendauer. Die Federkonstante *D* steht in der Formel zur Berechnung von *T* im Nenner unter Wurzel. Bei einer größeren Federkonstante, also einer härteren Feder, vergrößert sich bei gleichbleibender Auslenkung die rücktreibende Beschleunigung, daher kann das Pendel schneller eine volle Schwingung ausführen.

- Lassen Sie zur Überprüfung Ihrer Vermutungen Ihr Pendel mit **je drei** unterschiedlichen **Auslenkungen** / **Pendelmassen** und zwei verschiedenen **Federn** schwingen.
  - Beobachten Sie die Schwingung dabei genau und messen Sie die Periodendauer.
    Stoppen Sie dazu die Zeit für **mehrere Periodendauern** und **teilen** Sie sie durch die Anzahl der Schwingungen.
  - Variieren Sie die **Federkonstante**, indem sie die große **Feder** durch die kleinere ersetzen.
  - Variieren Sie die **Pendelmasse**, indem Sie unterschiedlich viele **Murmeln** in das Plastiktütchen füllen.
    Wiegen Sie das Smartphone mitsamt Plastikhülle und Murmeln bei jeder Messung.
- Tragen Sie Ihre Messwerte in die nachfolgenden **Tabellen** ein!

Auslenkung	*T* in s
klein	
mittel	
groß	

m in kg	*T* in s

Federkonstante	*T* in s
klein (größere Feder)	
groß (kleinere Feder)	

- Konnten Sie Ihre **Vermutungen** zur Auswirkung der Veränderung der Auslenkung / Pendelmasse / Federkonstante **experimentell bestätigen**? Wenn nicht, finden Sie zusammen eine Erklärung für die **Abweichung** zwischen Ihrer Hypothese und dem Experiment! (bei Schwierigkeiten → Tipp 4)

a) Vergleich der **Periodendauern** bei verschiedener **Auslenkung**:

Die Schwingungen haben die gleiche Periodendauer.
Alle Messungen sind fehlerbehaftet, sie reproduzieren daher niemals exakt die Theorie. Abweichungen zwischen Hypothese und Experiment können besonders dann auftreten, wenn das Pendel bei der Schwingung stark wackelt oder irgendwo anstößt.

b) Vergleich der **Periodendauern** bei verschiedener **Pendelmasse**:

Je größer die Pendelmasse ist, desto größer ist die Periodendauer.
Alle Messungen sind fehlerbehaftet, sie reproduzieren daher niemals exakt die Theorie. Abweichungen zwischen Hypothese und Experiment können besonders dann auftreten, wenn das Pendel bei der Schwingung stark wackelt oder irgendwo anstößt.

c) Vergleich der **Periodendauern** bei verschiedenen **Federn**:

Bei der kleineren (härteren) Feder ist die Periodendauer kleiner als bei der großen (weicheren) Feder.
Alle Messungen sind fehlerbehaftet, sie reproduzieren daher niemals exakt die Theorie. Abweichungen zwischen Hypothese und Experiment können besonders dann auftreten, wenn das Pendel bei der Schwingung stark wackelt oder irgendwo anstößt.

- **Bestimmen** Sie für Ihre Messungen mit verschiedenen Pendelmassen jeweils die **Federkonstante** mit Hilfe der obigen Formel und berechnen Sie den Mittelwert aller Ergebnisse!

Messung	*D* in N/m
1	
2	
3	
Mittelwert	

- **Beschreiben** Sie ein Experiment, mit dem Sie die Federkonstante **auf andere Art** messen könnten, um die Genauigkeit Ihres Wertes zu überprüfen! Erscheint Ihnen Ihr ermittelter Wert für die Federkonstante realistisch?

Die Federkonstante kann am einfachsten mit einer statischen Messung ermittelt werden, bei der die Feder von einer definierten Kraft (zum Beispiel der Gewichtskraft einer bekannten Masse) ausgelenkt und diese Auslenkung gemessen wird. Über die Formel $F = D \cdot s$ kann man dann die Federkonstante berechnen.

Die Federkonstante der größeren Feder beträgt etwa 3 N/m, die der kleineren etwa 20 N/m. Die Federn sollten sich also beim Anhängen einer Masse von etwa 100 g um ungefähr 33 cm bzw. 5 cm ausdehnen.

Aufgaben

Das auf dem Deckblatt abgebildete Holzspielzeug (*m* = 0,1 kg) hat eine Schwingungsperiode von T = 1,29 s.

- Wie groß ist seine Federkonstante?

$$D = {mT^2}/{4\pi^2} \approx 4{,}22 \cdot 10^{-3}\ \text{s}$$

Sie hängen ein anderes Spielzeug (m = 0,2 kg) an die Feder.

- Wie lange dauert nun eine Schwingungsperiode?

$$T = 2\pi\sqrt{{D}/{m}} \approx 0{,}91\ \text{s}$$

Vergleichen Sie am Ende der Versuchsdurchführung Ihre Lösungen mit der Musterlösung, bevor Sie zum nächsten Experiment übergehen!

Experiment: Das Fadenpendel

Stellen Sie sich vor, Sie wollen ein Kind auf einer Schaukel anstoßen. Sie ziehen das Kind auf der Schaukel in die Höhe und lassen es schwingen. Wie lange dauert es, bis das Kind das nächste Mal am Startpunkt ankommt, so dass Sie es wiederum anstoßen können? Ist diese Zeit abhängig von der Schaukel? Würde das Kind auf dem Mond genauso schnell schaukeln?

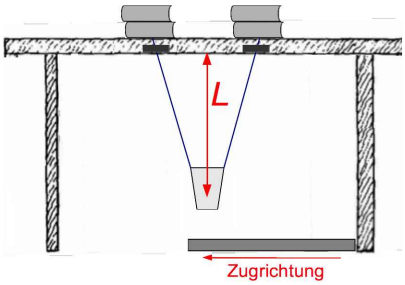
Das Fadenpendel

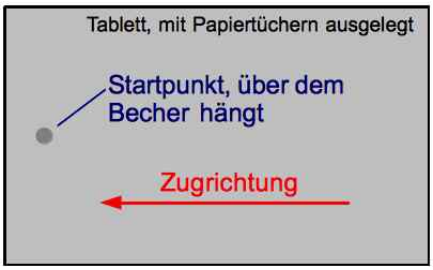
Materialien:

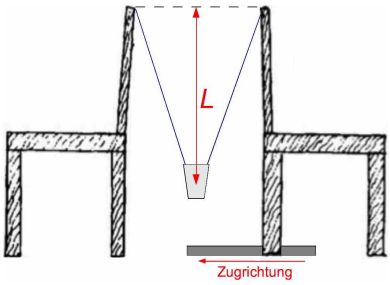
- zwei Plastikbecher (einer mit Loch und Aufhängung)
- zwei Stühle oder ein Tisch, eventuell Bücher o. Ä. zum Beschweren
- Papier-Handtücher
- Plastik-Tablett
- Metermaß
- Stoppuhr
- Klebeband
- Schere
- Schrauben (für Versuchsteil 2)
- Waage (für Versuchsteil 2)

Vorbereitung / Aufbau:

- **Plastikbecker mit Loch** wie in den Schemata gezeigt am Tisch oder den Stühlen aufhängen (Schnur mit Klebeband befestigen, bei Bedarf zusätzlich mit Büchern beschweren)
- zweiten Plastikbecher mit **Wasser** füllen
- Plastiktablett glatt mit 2 Lagen **Papiertüchern** auslegen und unter den hängenden Becher legen (Becher hängt über einem Ende des Blechs)







Durchführung (Teil 1):

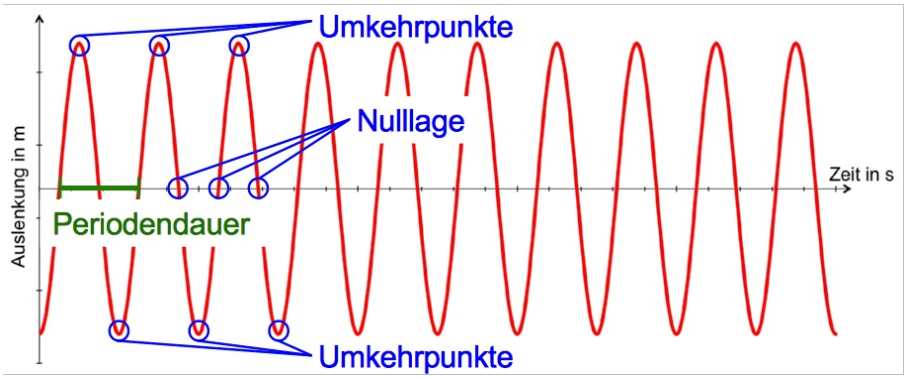
Zunächst sollen Sie den Verlauf der Schwingung Ihres Pendels qualitativ beobachten. Im zweiten Versuchsteil gehen Sie dann zu quantitativen Messungen über.

- **Wasser** aus dem gefüllten in den aufgehängten Plastikbecher gießen, **Loch** dabei **zuhalten**
- **Loch freigeben** und überprüfen, dass das Wasser in einem schwachen Strahl ausläuft und das Tablett etwa **in der Mitte einer der kürzeren Seiten** trifft (siehe Schema oben)
- Pendel **schwach auslenken** und loslassen
- während der Schwingung des Pendels Tablett **langsam, gleichmäßig und gerade** unter dem Pendel **hindurchziehen**

Verlauf der Schwingung

Beobachtung und Auswertung (Teil 1):

Sie sehen in der nachstehenden Grafik den theoretisch idealen Verlauf der Auslenkung eines zum Zeitpunkt t = 0 s schwach ausgelenkten Fadenpendels.



- Gibt es **Unterschiede** zwischen dem angegeben Kurvenverlauf und der im Experiment beobachtbaren Schwingung? Versuchen Sie, zusammen eine **Erklärung** für etwaige Unterschiede zu finden.

mögliche Unterschiede:

1. Die Amplitude nimmt im Experiment mit der Zeit ab.
   → Erklärung: Durch Luftreibung, Reibungen im Aufbau und ungewollte Schwingungen wird die für die Pendelschwingung zur Verfügung stehende Energie kleiner, die Amplitude nimmt daher langsam ab.
2. Die Kurve auf dem Papiertuch ist „verwackelt“, gestaucht oder gedehnt.
   → Erklärung: Es ist schwierig, den Becher ganz gerade loszulassen, so dass er nur in der gewünschten Richtung schwingt, und das Tablett exakt gerade und gleichmäßig unter dem schwingenden Becher hindurchzuziehen. Ungenauigkeiten werden in der Kurve als Abweichungen vom idealen Verlauf sichtbar.

Untersuchung der Periodendauer

Sie haben im Unterricht bereits die Formel zur Berechnung der Periodendauer eines Fadenpendels kennen gelernt:

$$T = 2\pi\sqrt{L/g}$$

Im zweiten Versuchsteil sollen Sie nun untersuchen, wie sich Veränderungen Ihres Aufbaus auf die Periodendauer *T* Ihres Pendels auswirken. Mit Hilfe der Messung dieser Periodendauer *T* können Sie dann die Größe der Erdbeschleunigung *g* bestimmen.

Durchführung und Auswertung (Teil 2):

- Diskutieren Sie: Welchen Einfluss auf die **Periodendauer** Ihrer Schwingung erwarten Sie bei einer Veränderung
  1. der (kleinen) **Auslenkung** zu Beginn der Schwingung?
  2. der **Pendelmasse**?
  3. der **Pendellänge**?
- Finden Sie gemeinsam eine **anschauliche Begründung** für Ihre Hypothesen! (bei Schwierigkeiten → Tipp 1 und 2)

1. Die **Auslenkung** hat keine Auswirkung auf die Periodendauer, solang sie klein genug bleibt. Sie steht nicht in der Formel zur Berechnung von *T*. Bei einer größeren Auslenkung vergrößert sich zwar die rücktreibende Beschleunigung, aber auch die Strecke, die das Pendel während einer Periode zurücklegen muss. Beide Effekte heben sich gegenseitig auf. Zu beachten ist dabei allerdings, dass alle unsere Betrachtungen nur für kleine Auslenkungen gelten. Für größere Auslenkungen ist das Fadenpendel kein harmonischer Oszillator.
2. Die **Pendelmasse** hat ebenfalls keine Auswirkung auf die Periodendauer. Auch sie steht nicht in der Formel zur Berechnung von *T*. Eine größere Masse vergrößert zwar die rücktreibende Kraft, aber nicht die rücktreibende Beschleunigung ($a = F/m$).
3. Je größer die **Pendellänge** ist, desto größer ist auch die Periodendauer. Die Länge des Pendels *L* steht in der Formel zur Berechnung von *T* im Zähler unter Wurzel. Bei einer größeren Pendellänge vergrößert sich die Strecke, die das Pendel während einer Periode zurücklegen muss, aber nicht die rücktreibende Beschleunigung, daher dauert die Ausführung einer vollen Schwingung länger.

- Lassen Sie zur Überprüfung Ihrer Vermutungen Ihr Pendel mit **je drei** unterschiedlichen **kleinen Auslenkungen** / **Pendelmassen** / **Pendellängen** schwingen.
  - Füllen Sie dazu den **freien Becher** mit unterschiedlich vielen **Schrauben**, **wiegen** Sie ihn und setzen Sie ihn in den **aufgehängten Becher**, um ihn schwingen zu lassen.
  - Beobachten Sie die Schwingung genau und messen Sie die Periodendauer. **Stoppen** Sie dazu die Zeit für **mehrere Periodendauern** und **teilen** Sie sie durch die Anzahl der Schwingungen.
  - Messen Sie die **Pendellänge** jeweils bis zum Schwerpunkt in der Mitte der Schrauben.

Auslenkung	*T* in s
klein	
noch kleiner	
sehr klein	

m in kg	*T* in s

L in m	*T* in s

- Konnten Sie alle Ihre Vermutungen zur Auswirkung der Veränderung der Auslenkung / Pendelmasse / Pendellänge **experimentell bestätigen**? Wenn nicht, finden Sie zusammen eine Erklärung für die **Abweichung** zwischen Ihrer Hypothese und dem Experiment! (bei Schwierigkeiten → Tipp 3)

a) Vergleich der **Periodendauern** bei verschiedener **Auslenkung**:

Die Schwingungen haben die gleiche Periodendauer.
Alle Messungen sind fehlerbehaftet, sie reproduzieren daher niemals exakt die Theorie. Abweichungen zwischen Hypothese und Experiment können besonders dann auftreten, wenn das Pendel bei der Schwingung stark wackelt oder irgendwo anstößt.

b) Vergleich der **Periodendauern** bei verschiedener **Pendelmasse**:

Die Schwingungen haben die gleiche Periodendauer.
Alle Messungen sind fehlerbehaftet, sie reproduzieren daher niemals exakt die Theorie. Abweichungen zwischen Hypothese und Experiment können besonders dann auftreten, wenn das Pendel bei der Schwingung stark wackelt oder irgendwo anstößt.

c) Vergleich der **Periodendauern** bei verschiedener **Pendellänge**:

Die Schwingungen haben unterschiedlich große Periodendauern. Je größer die Pendellänge, desto größer auch die Periodendauer.
Alle Messungen sind fehlerbehaftet, sie reproduzieren daher niemals exakt die Theorie. Abweichungen zwischen Hypothese und Experiment können besonders dann auftreten, wenn das Pendel bei der Schwingung stark wackelt oder irgendwo anstößt.

- **Bestimmen** Sie für Ihre Messungen mit verschiedenen Pendellängen jeweils die **Erdbeschleunigung** mit Hilfe der Formel für die Periodendauer und berechnen Sie den Mittelwert aller Ergebnisse!

Messung	g in m/s^2
1	
2	
3	
Mittelwert	

- **Beurteilen** Sie, wie gut der von Ihnen gefundene Wert für die **Erdbeschleunigung** mit dem **Literaturwert** übereinstimmt: Um wie viel Prozent weicht er von 9,81 m/s^2 ab?

Berechnung der Abweichung:
$100 \cdot (|a_{gemessen} - 9{,}81\ m/s^2| / 9{,}81 m/s^2)$ = Abweichung in Prozent

- Können Sie sich die **Abweichung** vom Literaturwert **erklären**? Überlegen Sie zusammen, wie man die **Genauigkeit** Ihres Ergebnisses noch **verbessern** könnte!

Bei diesem Versuch kommen Messfehler vor allem durch die relativ ungenaue Längenmessung zustande, weil der Schwerpunkt des Pendels nur abgeschätzt werden kann. Weitere Fehler entstehen dadurch, dass Reibungseffekte (zum Beispiel die Luftreibung oder die Reibung des Fadens an der Aufhängung) nicht berücksichtigt wurden. Bei der Herleitung der Formel für die Periodendauer wurde außerdem davon ausgegangen, dass die Masse des Pendels in einem Punkt konzentriert ist, wodurch weitere Abweichungen entstehen.
Generell lassen sich Messwerte dadurch verbessern, dass man viele Messungen durchführt und einen Mittelwert bildet. Die Fehler heben sich bei diesem Vorgehen teilweise gegenseitig auf.

Aufgaben

Zurück zu unserer Anfangsfrage: Das Nachbarskind (m = 15 kg) möchte mit Ihnen im Garten schaukeln. Sie setzen das Kind also auf die Schaukel (Länge der Seile: L = 2 m), ziehen diese in die Höhe und lassen dann los.

- Wie lange dauert es, bis das Kind zurück zum Ausgangspunkt geschwungen ist, sodass Sie es erneut anstoßen müssen?

$$T = 2\pi\sqrt{L/g} \approx 2{,}84\ \text{s}$$

Stellen Sie sich vor, sie würden mit dem Kind auf den Mond fliegen (g = 1,62 m/s^2), wo eine exakt gleiche Schaukel aufgebaut wäre.

- Nach welcher Zeit müssten sie das Kind nun zum ersten Mal anstoßen?

$$T = 2\pi\sqrt{L/g} \approx 6{,}98\ \text{s}$$

Sie haben eigentlich keine Lust mehr, sich um das Kind zu kümmern und würden sich lieber ein Getränk aus dem Kühlschrank holen. Dafür benötigen Sie aber 5 Minuten.

- Wie lang müssten die Seile der Schaukel sein, damit Sie rechtzeitig wieder da sein könnten, um die Schaukel anzustoßen?

$$L = gT^2/4\pi^2 \approx 22364{,}12\ \text{m}$$

Vergleichen Sie am Ende der Versuchsdurchführung Ihre Lösungen mit der Musterlösung, bevor Sie zum nächsten Experiment übergehen!

Experiment: Gekoppelte Pendel

Der berühmte Physiker Christian Huygens beobachtete einst, dass zwei gleiche Pendeluhren, die auf einem Schiff am selben Balken aufgehängt waren, nicht nur im Rahmen ihrer Genauigkeit gleich gingen, sondern exakt gleich. Störte man diese Übereinstimmung absichtlich, so synchronisierten sich die Uhren nach kurzer Zeit von selbst wieder. Verantwortlich für diese Übertragung ist die Kopplung von Schwingungen, die im folgenden Experiment genauer untersucht werden soll.

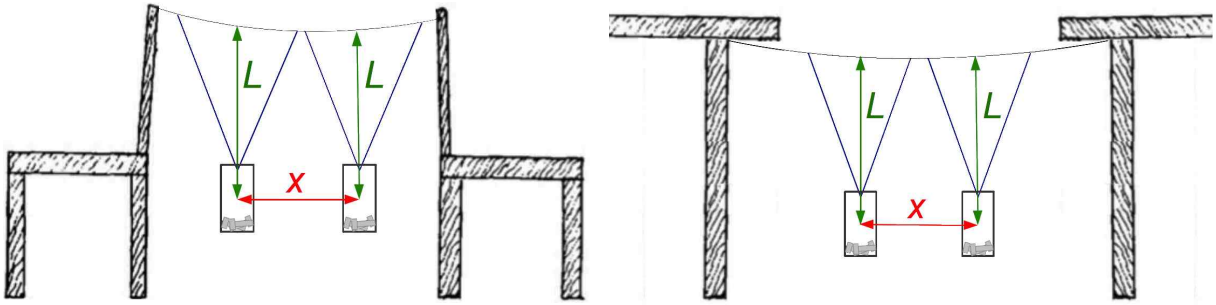
Gekoppelte Fadenpendel

Materialien:

- zwei Plastiktütchen mit Schrauben und Aufhängungen
- zwei Stühle oder Tische
- Schnur
- Klebeband
- Metermaß
- Stoppuhr

Vorbereitung / Aufbau:

- **Plastiktütchen** wie im Schema gezeigt zwischen den beiden Stühlen oder Tischen **aufhängen:**
  - **Schnur** um die Stuhllehnen oder Tischbeine knoten, mit Klebeband fixieren
  - Plastiktütchen als Pendel an der Schnur befestigen (dazu Sicherheitsnadeln durch die Schnur stechen)
  - beide Pendel sollten die **gleiche Länge** *L* haben
  - die Schnur sollte **nicht allzu straff** gespannt sein



Durchführung (Teil 1):

Zunächst sollen Sie beobachten, was passiert, wenn eines der beiden Pendel in Schwingung versetzt wird.

- **eines** der Pendel sanft und vorsichtig in Schwingung versetzen
- Schwingungsvorgang genau **beobachten**

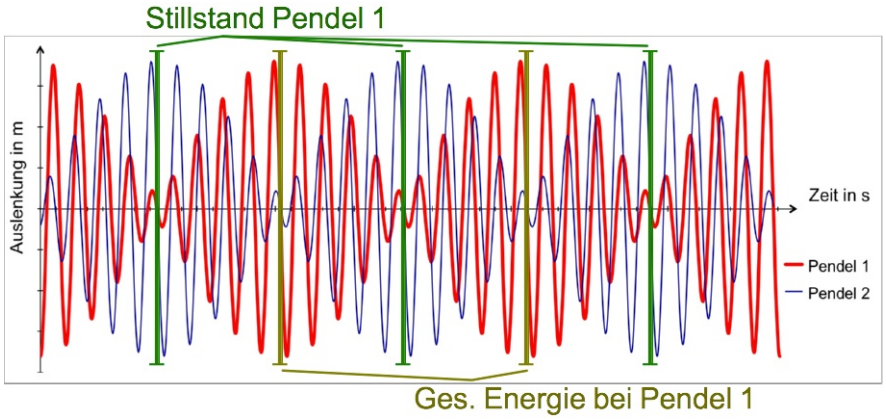
Verlauf der Schwingung

Beobachtung und Auswertung (Teil 1):

- **Beschreiben** Sie Ihre Beobachtung!

Das ausgelenkte Pendel schwingt mit immer kleiner werdender Amplitude, gleichzeitig fängt das andere Pendel auch an zu schwingen. Das zweite Pendel schwingt mit maximaler Auslenkung, wenn das erste Pendel stillsteht, dann kehrt sich der Vorgang um, bis das zweite Pendel still steht und das erste maximal schwingt. Die maximalen Schwingungsamplituden nehmen dabei insgesamt sehr stark ab.

Als **gekoppelte Pendel** bezeichnet man Pendel, zwischen denen über eine Verbindung, die sogenannte **Kopplung**, Energie ausgetauscht werden kann. Auf jedes der Pendel wirkt dabei außer der Rückstellkraft eine zusätzliche, durch die Kopplung verursachte Kraft. Im hier durchgeführten Experiment ist diese dafür verantwortlich, dass die gesamte **Bewegungsenergie** eines Pendels auf das andere **übertragen** wird, so dass das erstere stehen bleibt. Anschließend kehrt sich der Vorgang um (die Bewegungsenergie wird wieder aufs erste Pendel übertragen) und wiederholt sich dann theoretisch endlos lange.
In der Grafik unten ist der theoretisch ideale Verlauf der Auslenkung zweier gekoppelter Pendel aufgetragen.

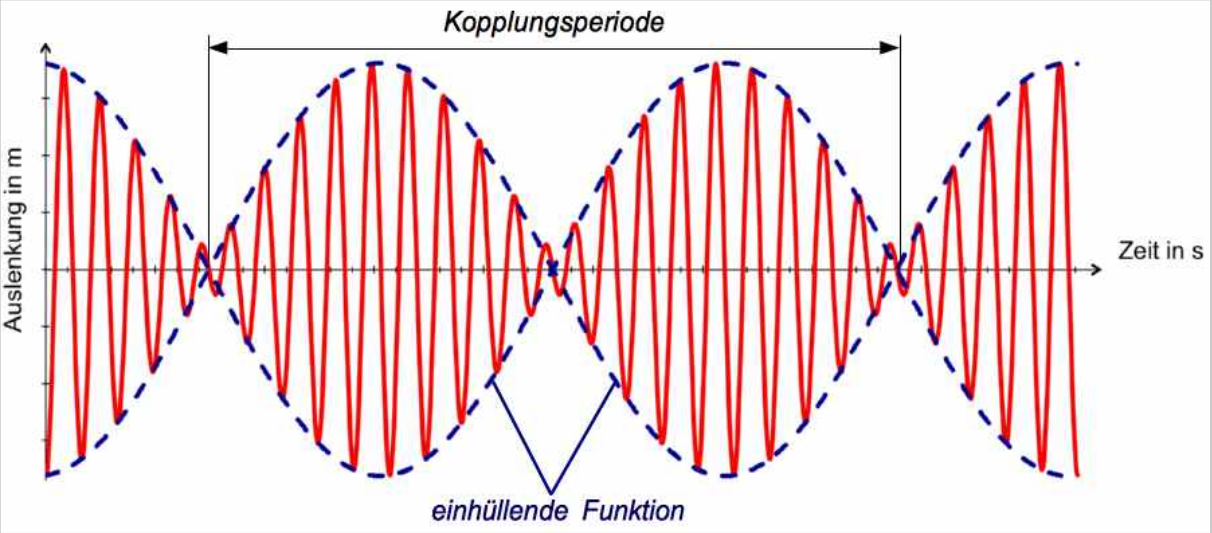


- **Markieren** Sie im obigen Diagramm:
  - die Stellen, an denen **Pendel 1 still steht**
  - die Stellen, an denen **Pendel 2** seine gesamte **Energie** zurück an **Pendel 1 übertragen** hat

- Gibt es **Unterschiede** zwischen dem Verlauf der Schwingung in Ihrem Versuch und dem angegebenen Kurvenverlauf? Versuchen Sie, zusammen eine **Erklärung** für etwaige Unterschiede zu finden.

wesentlicher Unterschied:
Die maximale Amplitude der Schwingung, also die Amplitude der einhüllenden Funktion wird im Experiment immer kleiner.
→ Erklärung: Durch Luftreibung, Reibungen im Aufbau und ungewollte Schwingungen wird die für die Pendelschwingung zur Verfügung stehende Energie kleiner, die maximalen Amplituden nehmen daher ab und damit auch die Amplitude der einhüllenden Funktion.

Die Energieübertragung zwischen den beiden Pendeln lässt sich mit Hilfe einer sogenannten **einhüllenden Funktion** beschreiben. Die Periodendauer dieser einhüllenden Funktion wird **Kopplungsperiode** T_K genannt.



- **Wie oft** wird während einer Kopplungsperiode die gesamte **Energie** von Pendel 1 auf Pendel 2 **übertragen**?

Die gesamte Energie wird zwei Mal übertragen: Das zweite Pendel steht zu Beginn still, seine einhüllende Funktion hat zu diesem Zeitpunkt den Wert Null. Es empfängt die gesamte Energie des ersten Pendels und gibt sie dann wieder zurück, bis es wieder steht. Hat es nochmals die komplette Energie des ersten Pendels übernommen und zurückgegeben, so dass es wieder still steht, ist die Kopplungsperiode abgeschlossen.

- **Bestimmen** Sie die **Kopplungsperiode** Ihrer gekoppelten Pendel mit der Stoppuhr. T_K = _____
- **Prüfen** Sie, ob der bestimmte Wert für die Kopplungsperiode mit der beobachteten Schwingung **übereinstimmt**.

Stärke der Kopplung

Durchführung und Auswertung (Teil 2):

Die Kopplungsperiode ist abhängig von der **Stärke der Kopplung**: Je stärker zwei Pendel gekoppelt sind, desto schneller wird die Energie zwischen Ihnen übertragen, desto kleiner ist also die Kopplungsperiode. In unserem Versuch kann die Kopplungsstärke verändert werden, indem man den **Abstand** zwischen den beiden Pendeln variiert oder die Schnur, an der sie aufgehängt sind, unterschiedlich stark spannt.

- Führen Sie den Versuch wie oben beschrieben noch je drei Mal mit verschiedenen **Pendelabständen *x*** und verschieden stark **gespannter** Schnur durch. Messen Sie die Kopplungsperiode jeweils mit der Stoppuhr.
- Tragen Sie Ihre Messwerte in die nachfolgenden **Tabellen** ein!

x in m	T_K in s

Spannung der Schnur	T_K in s
schwach	
mittel	
stark	

- Formulieren Sie den Zusammenhang zwischen der Kopplungsstärke und dem **Abstand** der Pendel in einer **je-desto-Beziehung**!

- Formulieren Sie den Zusammenhang zwischen der Kopplungsstärke und der **Spannung** der Schnur in einer **je-desto-Beziehung**!

Je größer die Spannung der Schnur ist, desto größer ist die Kopplungsperiode, desto kleiner also die Kopplungsstärke.

Literatur: Kuhn, J. & Müller, A. (Hrsg.). (2013). Smartphone, Tablet-PC & Co: Unterrichts- und Testmaterialien für den Einsatz mobiler neuer Medien als Experimentiermittel im Naturwissenschaftlichen Unterricht. Kaiserslautern: Universität