

## Kräftetisch 1000694

### Bedienungsanleitung

10/13 ALF



- 1 Fuß
- 2 Gewichtaufhänger mit Schlitzgewichten
- 3 Klemmen mit Umlenkrollen
- 4 Mittelstab
- 5 Halterung für Schnüre
- 6 Arbeitsplatte

#### 1. Beschreibung

Der Kräftetisch dient zum Nachweis, dass die Kraft eine vektorielle Größe ist sowie zur quantitativen Untersuchung der Zusammensetzung und Zerlegung von Kräften.

Der Kräftetisch besteht aus einer kreisförmigen Arbeitsplatte auf stabilem Fuß mit doppelter Skalierung der Winkелеinteilung. Über drei Umlenkrollen mit Befestigungsklammern werden Gewichte an Schnüren mit Haken aufgehängt. Die drei Schlitzgewichtsätze aus Messing bestehen aus je 2x 5 g, 2x 10 g, 2x 20 g und 2x 50 g Gewichten sowie einem 50 g Gewichtaufhänger.

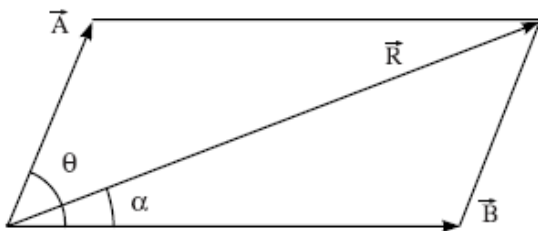
#### 2. Technische Daten

Abmessungen:	ca. 300 mm x 390 mm Ø
Skala:	0 bis 360° mit 1° Teilung
Masse:	ca. 3 kg

### 3. Prinzip

Kräfte sind vektorielle Größen. Deshalb kann die resultierende Ersatzkraft zweier auf einen Punkt wirkender Kräfte nicht allein aus ihren Größen bestimmt werden sondern es muss auch ihre Richtung Berücksichtigung finden. Die Resultierende zweier oder mehrerer in einer Ebene auf einen Punkt wirkender Kräfte ist eine einzelne Kraft in der gleichen Ebene, die die gleiche Wirkung hervorruft, wie die Kombination der individuellen Kräfte. Hat eine Kraft also die gleiche Größe wie die Resultierende, wirkt aber entgegengesetzt in der Richtung, so befindet sich der Körper im Gleichgewichtszustand. Die Resultierende kann analytisch oder mit graphischen Methoden mittels verschiedener Gesetze (Kräfteparallelogramm, Kräftedreieck, Kräftepolygon) bestimmt werden.

Nach dem Gesetz des Kräfteparallelogramms werden zwei Kräfte, die gleichzeitig auf einen Körper wirken, in ihrer Größe und in ihrer Richtung durch zwei aneinander liegenden Seiten eines Parallelogramms repräsentiert. Die Resultierende ergibt sich sowohl in Größe als auch in Richtung aus der Diagonalen, die ihren Ausgang im gleichen Punkt hat.



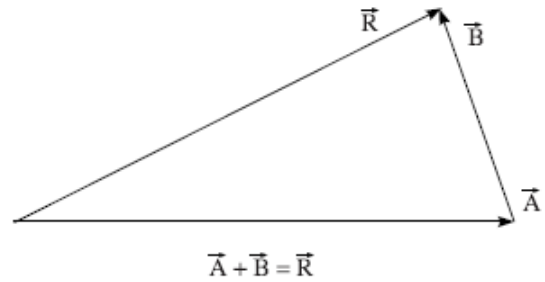
Dieser Satz lässt sich mathematisch folgendermaßen ausdrücken. Wenn zwischen zwei Kräften  $\vec{A}$  und  $\vec{B}$ , die auf einen Körper wirken, der Winkel  $\theta$  liegt, ergibt sich die Resultierende  $\vec{R}$  aus:

$$R = \sqrt{A^2 + B^2 + 2AB \cos \theta}$$

Ist  $\alpha$  der Winkel zwischen der Resultierenden und der Kraft  $\vec{A}$ , so ist

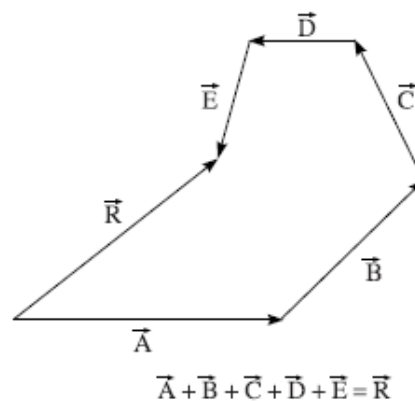
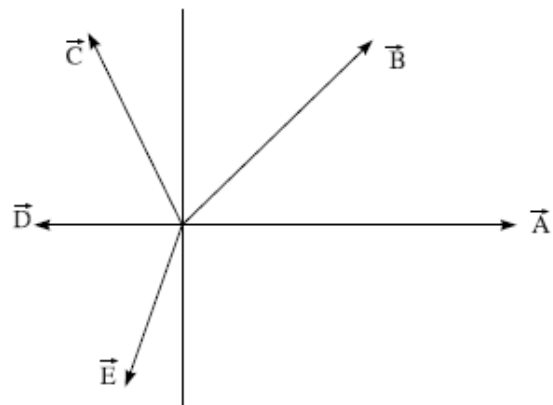
$$\tan \alpha = \frac{B \sin \theta}{A + B \cos \theta}$$

Nach dem Gesetz des Kräftedreiecks werden zwei Kräfte, die gleichzeitig auf einen Körper wirken, in ihrer Größe und in ihrer Richtung durch zwei Seiten eines Dreiecks repräsentiert, die den gleichen Richtungssinn haben. Die Resultierende ergibt sich sowohl in Größe als auch in Richtung aus der dritten Seite im entgegengesetzten Richtungssinn wie die ersten beiden Seiten.



Daraus ergibt sich, dass sich ein Körper im Gleichgewicht befindet, wenn drei Kräfte auf ihn wirken, die durch die Seiten eines Dreiecks repräsentiert werden.

Wirken mehr als zwei Kräfte gleichzeitig auf einen Körper, findet das Gesetz des Kräftepolygons seine Anwendung. Danach werden mehrere Kräfte mit gemeinsamem Angriffspunkt in ihrer Größe und in ihrer Richtung durch ein offenes Polygon repräsentiert, bei denen die Seiten den gleichen Richtungssinn haben. Die resultierende Ersatzkraft ergibt sich aus der Seite, die das Polygon schließt im entgegengesetzten Richtungssinn wie die anderen Seiten.



Daher befindet sich ein Körper, auf den mehrere Kräfte wirken, im Gleichgewicht, wenn sich die Kräfte als geschlossenes Polygon darstellen lassen. Die Vektorsumme der individuellen Kräfte ist gleich Null und deshalb ist die Resultierende auch Null.

Eine nähere Betrachtung dieses Sachverhalts zeigt, dass das Gesetz des Kräftepolygons nur eine einfache Erweiterung des Gesetzes des Kräfte-dreiecks ist.

Der Kräftetisch ist ein geeignetes Instrument zur Demonstration der Vektoraddition und des Gleichgewichts von Kräften sowie zur Bestätigung der graphischen und analytischen Methoden. Der Gleichgewichtszustand zwischen zwei oder drei Kräften lässt sich demonstrieren und sowohl die Größe als auch die Richtung jeder Kraft einfach bestimmen.

## 4. Bedienung

### 4.1 Aufbau des Geräts

- Fuß auf ebene Fläche stellen.
- Mittelstab senkrecht im Fuß festschrauben.
- Arbeitsplatte mit Kraft auf den Mittelstab aufdrücken.
- Unterlegscheibe auf die Mittelbohrung auflegen und Halterung für Schnüre einschrauben.
- Umlenkrollen mit Klemmen an den  $0^\circ$ ,  $120^\circ$  und  $240^\circ$  Markierungen der Arbeitsplatte anbringen.
- Ring über die Halterung im Mittelpunkt der Arbeitsplatte legen.
- Schnüre über die Umlenkrollen legen, Gewichtaufhänger anhängen und gleiche Schlitzgewichte auflegen.
- Ring sollte sich im Gleichgewicht befinden.

### 4.2 Versuchsbeispiel: Vektor Addition

- Kräftetisch wie oben beschrieben aufbauen.
- Eine 20 g und eine 50 g Masse auf je einen Gewichtsanhänger bei  $0^\circ$  und  $120^\circ$  auflegen.
- Durch Auflegen von Massen auf den dritten Gewichtsanhänger und Wahl eines geeigneten Winkels Gleichgewicht herstellen. Zur Überprüfung Ring anheben und fallen lassen. Fällt der Ring zurück ins Zentrum, ist ein Gleichgewichtszustand erreicht. Falls nicht, müssen weitere Justierungen vorgenommen werden.
- Größe und Richtung der Kraft berechnen, die nötig ist ein Gleichgewicht zu erreichen. Vergleich der theoretischen Größe mit dem experimentell gewonnenen Wert.
- Die verschiedenen Kräfte in Richtung und Größe maßstabgerecht zeichnen; Bestätigung des Gesetzes des Kräfte-dreiecks.
- Versuch mit verschiedenen Massen und Winkeln wiederholen.

## Force Table 1000694

### Instruction sheet

10/13 ALF



- 1 Base
- 2 Weight holder with slotted weights
- 3 Clamps with pulleys
- 4 Centre rod
- 5 Mount for cords
- 6 Work disc

### 1. Description

The force table serves to prove that force is a vector quantity. It is also used for quantitative investigation of how forces combine and resolve.

The force table consists of a circular work disc on a stable base with a dual angle scale. Weights are attached to three pulleys with securing clamps. The three sets of brass weights consist of 2x 5 g, 2x 10 g, 2x 20 g and 2x 50 g weights and weight holders weighing 50 g.

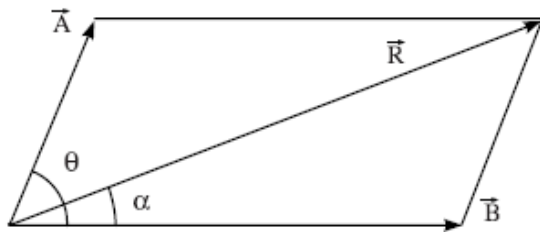
### 2. Technical data

Dimensions: 300 mm x 390 mm dia. approx.  
 Scale: 0 to 360° with 1° resolution  
 Weight: 3 kg approx.

### 3. Principle

Forces are vector quantities. This means that the resultant of two forces working at a single point is not simply the sum of the forces but is dependent on the direction in which the forces act. The resultant of two forces acting at the same point in a single plane is defined as that force which, acting alone in the same plane, would have the same effect as the combination of the two forces. A force of equal magnitude to the resultant but acting in the opposite direction therefore maintains the body in equilibrium. The resultant can be obtained by analysis or by graphical means using various laws (parallelogram of forces, triangle of forces, polygon of forces).

A parallelogram of forces represents two forces acting simultaneously on a body as two adjacent sides of a parallelogram. The magnitude and direction of their resultant is then given by the diagonal originating from the same point.



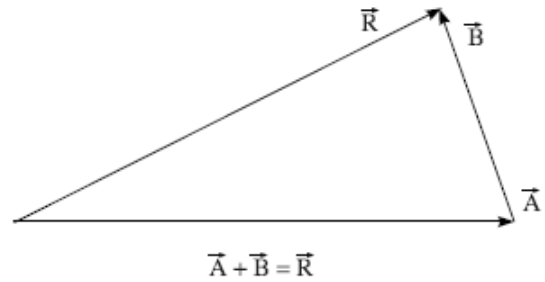
This theorem can be expressed mathematically as follows: When two forces  $\vec{A}$  and  $\vec{B}$  acting on a body with an angle  $\theta$  between them, the resultant  $\vec{R}$  is given by:

$$R = \sqrt{A^2 + B^2 + 2AB\cos\theta}$$

If  $\alpha$  is the angle between the resultant and force  $\vec{A}$  then:

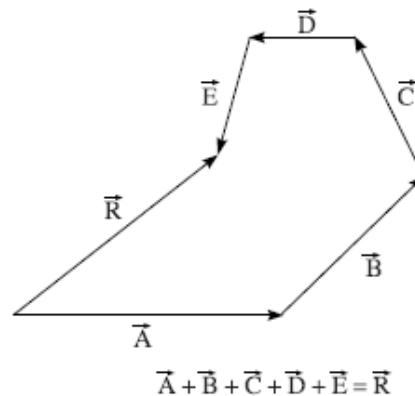
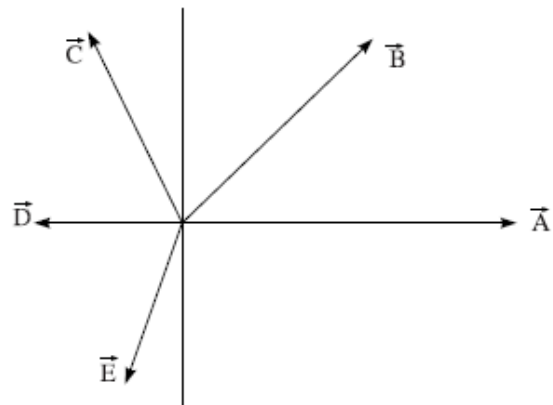
$$\tan\alpha = \frac{B\sin\theta}{A + B\cos\theta}$$

With the law of the triangle of forces, two forces acting simultaneously on a body are represented in terms of magnitude and direction by two following sides of a triangle. The magnitude and direction of the resultant is then given by following the third side of the triangle in the opposite direction.



From this it can be determined that a body is in equilibrium if three forces are acting upon it, which can be represented by the three sides of a triangle.

If more than two forces act on a body at once, the law of the polygon of forces is used. This represents several forces acting at the same point as following sides of a polygon where one side remains open. As for the triangle, following the side that closes the polygon in the opposite direction gives the resultant force.



Therefore a body is in equilibrium when several forces act upon it that can be represented as a closed polygon. The vector sum of the individual forces is equal to zero and so is the resultant force. On closer observation, this law can be seen to be a simple extension of the law of the triangle of forces. The force table is suitable for demonstrating vector addition and equilibrium of forces and for confirming the graphic and analytical methods. The equilibrium between two or three forces can be demonstrated and the magnitude and direction of each force easily determined.

## 4. Operation

### 4.1 Equipment Setup

- Place the base on an even surface.
- Screw the centre rod vertically into the base.
- Press the work disc with force onto the centre rod.
- Place the washer onto the central bore and screw in the mount for cords.
- Attach the pulleys with clamps at the positions on the work disc marked  $0^\circ$ ,  $120^\circ$  and  $240^\circ$ .
- Place the ring above the mount in the centre of the work disc.
- Run the cords over the pulleys, suspend the weight holders and attach the slotted weights.
- The ring should be in a state of equilibrium.

### 4.2 Sample experiment: Vector Addition

- Set up the force table as above.
- Add a 20 g mass to one weight holder and a 50 g mass to another at  $0^\circ$  and  $120^\circ$ .
- By adding weights to a third weight holder and selecting a suitable angle it is possible to establish equilibrium. To check the equilibrium, lift the ring and let it drop. If it falls back to the centre, equilibrium has been attained. If not, then further adjustments are necessary.
- Calculate the magnitude and direction of the forces required to attain equilibrium. Compare the values obtained in the experiment to those determined by the theory.
- Draw the forces to scale showing their magnitude and direction to confirm the law of the triangle of forces.
- Repeat the experiment with different masses and angles.

## Mesa de fuerzas 1000694

### Instrucciones de uso

10/13 ALF



- 1 Base
- 2 Colgador de pesas con pesas ranuradas
- 3 Sujetadores co poleas
- 4 Varilla central
- 5 Soporte para cordones
- 6 Placa de trabajo

### 1. Descripción

La mesa de fuerzas se utiliza para demostrar que la fuerza es una dimensión vectorial, así como para el estudio cuantitativo de la unión y descomposición de fuerzas.

La mesa de fuerzas se compone de una placa de trabajo circular, apoyada sobre una base estable, con doble escala de división angular. Sobre las tres poleas de inversión, con soportes de sujeción, se colgarán pesas de cordones con ganchos. Los tres juegos de pesas ranuradas, de latón, están compuestos, cada uno, de 2 pesas de 5 g, 2 de 10 g, 2 de 20 g y 2 de 50 g, así como de un colgador de pesas de 50 g.

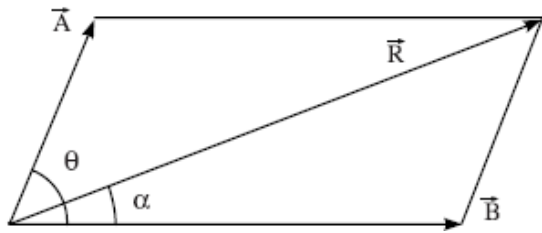
### 2. Datos técnicos

Dimensiones: aprox. 300 mm x 390 mm Ø  
 Escala: de 0 a 360°, con divisiones de 1°  
 Peso: aprox. 3 kg

### 3. Principio

Las fuerzas son magnitudes vectoriales. Es por ello que una fuerza resultante de dos fuerzas, que actúan sobre un punto, no puede medirse sólo a partir de su dimensión, sino que también hay que tener en cuenta su dirección. La fuerza resultante de dos o más fuerzas que actúan sobre un mismo punto, a un mismo nivel, es otra fuerza única en el mismo nivel, que tiene el mismo efecto que la combinación de las fuerzas individuales. Por lo tanto, si una fuerza tiene la misma magnitud que la resultante, pero actúa en sentido contrario, el cuerpo se encontrará en estado de equilibrio. Las fuerzas resultantes pueden determinarse con métodos analíticos o gráficos a través de diversas reglas (paralelograma de fuerzas, triángulo de fuerzas o polígono de fuerzas).

Según la regla del paralelograma de fuerzas, las dimensiones y sentidos de dos fuerzas, que actúan al mismo tiempo sobre un cuerpo, se representan por medio de los dos lados contiguos de un paralelograma. La fuerza resultante se obtiene, en su dimensión y en su sentido, de la diagonal que parte del mismo punto.



Esta regla puede expresarse matemáticamente de

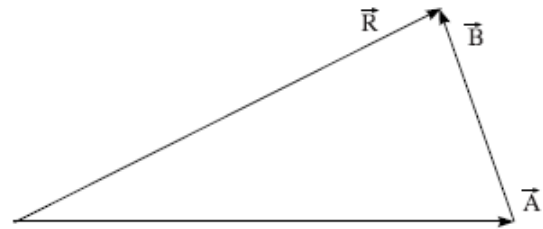
acuerdo con lo siguiente: Si entre dos fuerzas  $\vec{A}$  y  $\vec{B}$ , que actúan sobre un mismo cuerpo, se encuentra el ángulo  $\theta$ , se obtiene la fuerza resultante  $\vec{R}$ :

$$R = \sqrt{A^2 + B^2 + 2AB \cos \theta}$$

$\alpha$  es el ángulo entre la fuerza resultante y la fuerza  $\vec{A}$ , de modo que:

$$\tan \alpha = \frac{B \sin \theta}{A + B \cos \theta}$$

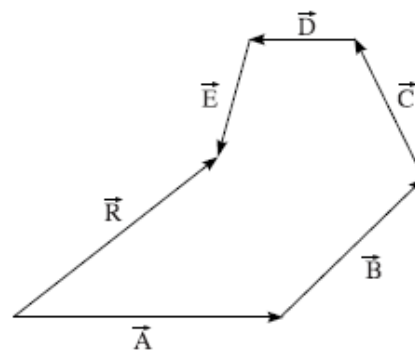
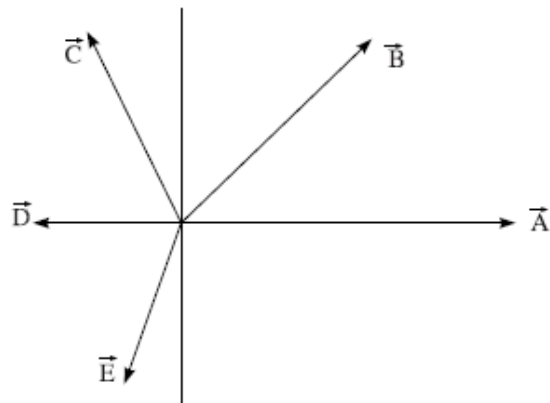
Según la regla del triángulo de fuerzas, para dos fuerzas que actúan al mismo tiempo sobre un cuerpo, su magnitud y dirección se representarían con los dos lados de un triángulo, que tienen la misma dirección. La fuerza resultante se obtiene, tanto en su magnitud como en su dirección, del tercer lado del triángulo que tiene sentido contrario a los dos primeros lados.



$$\vec{A} + \vec{B} = \vec{R}$$

De ello se deduce que un cuerpo se encuentra en equilibrio cuando sobre él actúan tres fuerzas representadas por los lados de un triángulo.

Si más de dos fuerzas actúan a la vez sobre un cuerpo, podremos entonces aplicar la regla del polígono de fuerzas. Según esta regla, se representarían las dimensiones y direcciones de varias fuerzas, que actúan sobre un mismo punto, mediante un polígono abierto en el que todos los lados tuvieran la misma dirección. La fuerza resultante se obtiene del lado que cierra el polígono y que tiene una dirección contraria a todos los demás lados del mismo.



$$\vec{A} + \vec{B} + \vec{C} + \vec{D} + \vec{E} = \vec{R}$$

Según este esquema, un cuerpo sobre el que actúan diversas fuerzas se encuentra en equilibrio cuando estas fuerzas se pueden representar por medio de un polígono cerrado. La suma de los vectores de las fuerzas individuales es igual a cero, y por tanto la fuerza resultante es también cero.



Un estudio más detenido de este fenómeno muestra que la regla del polígono de fuerzas es simplemente una ampliación de la regla del triángulo de fuerzas.

La mesa de fuerzas es un instrumento indicado para la demostración de la suma vectorial y del equilibrio de fuerzas, así como para la determinación de los métodos gráficos y analíticos. Con él puede mostrarse el equilibrio entre dos o tres fuerzas, e incluso pueden determinarse con facilidad las magnitudes y sentido de cada fuerza.

## 4. Manejo

### 4.1 Montaje del aparato

- Coloque la base sobre una superficie plana.
- Atornille la varilla central sobre la base, en sentido vertical.
- Aplice la placa de trabajo con presión sobre la varilla central.
- Arandela Poner la arandela sobre el taladro central y atornillar el soporte para los cordones.
- Ajuste las poleas de inversión, con los sujetadores, en las marcas de  $0^\circ$ ,  $120^\circ$  y  $240^\circ$  de la placa de trabajo.
- Coloque el anillo, sobre el soporte, en el centro de la placa de trabajo.
- Coloque los cordones sobre las poleas de inversión, cuelgue los soportes de pesas y emplace sobre ellos pesas ranuradas de igual peso.
- El anillo debe encontrarse en equilibrio.

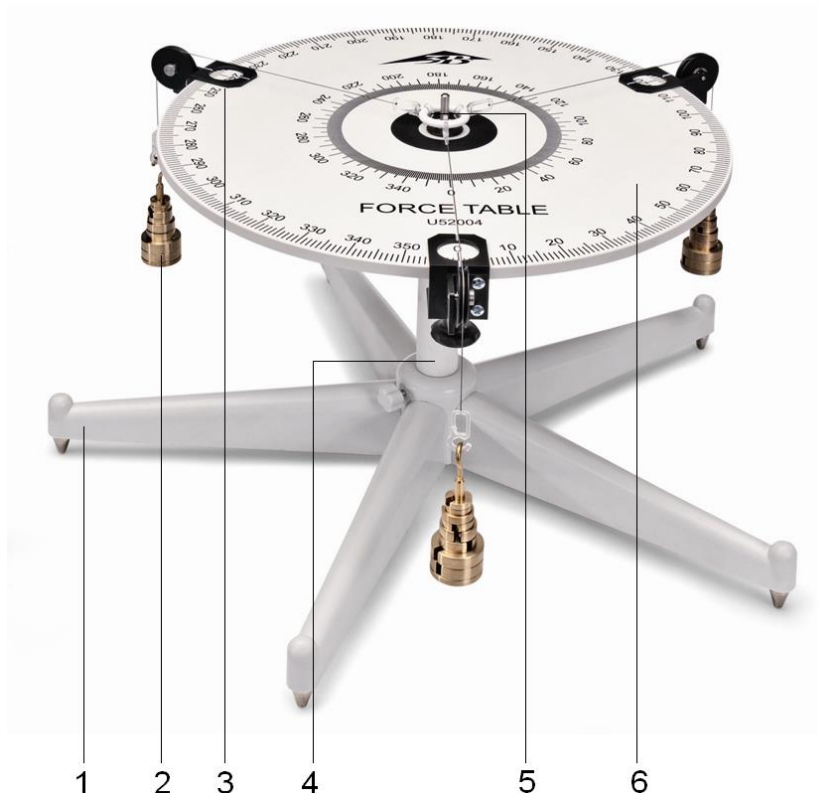
### 4.2 Ejemplo de experimento: Suma vectorial

- Monte la mesa de fuerzas como se indicó anteriormente.
- Cuelgue de cada colgador una pesa de 20 g y otra de 50 g, en las marcas de  $0^\circ$  y  $120^\circ$ .
- Consiga el equilibrio colocando pesas en el tercer colgador, seleccionando para este fin un ángulo adecuado. Como comprobación eleve el anillo y déjelo caer. Si el anillo vuelve a su posición, en el centro, habrá alcanzado el equilibrio. Si no es así, deberá realizar más ajustes hasta conseguir este resultado.
- Calcule la magnitud y sentido de la fuerza necesarios para alcanzar el equilibrio, compare la magnitud teórica con el valor obtenido experimentalmente.
- Dibuje a escala las diferentes fuerzas, tanto en sentido como en magnitud. Comprobación de la regla del triángulo de fuerzas.
- Repita el experimento con diferentes pesos y ángulos.

## Table de forces 1000694

### Instructions d'utilisation

10/13 ALF



- 1 Pied
- 2 Suspensions avec poids à fente
- 3 Fixations avec galets de renvoi
- 4 Barre du milieu
- 5 Support pour cordes
- 6 Plaque de travail

### 1. Description

La table de forces permet de démontrer que la force est une grandeur vectorielle et d'effectuer une étude quantitative sur la composition et la décomposition de forces.

La table de forces est constitué d'une plaque de travail circulaire montée sur un pied stable avec une double graduation angulaire. Des poids sont accrochés à des cordes par des crochets sur trois galets de renvoi à fixations. Les trois jeux de poids à fente, laiton, comprennent chacun 2x 5 g, 2x 10 g, 2x 20 g et 2x 50 g poids ainsi qu'une suspension de poids de 50 g.

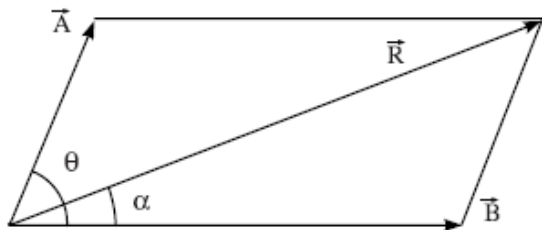
### 2. Caractéristiques techniques

Dimensions :	env. 300 mm, x Ø 390 mm
Graduation :	0° à 360°, en pas de 1°
Masse :	env. 3 kg

### 3. Principe

Les forces sont des grandeurs vectorielles. Aussi la force résultante de deux forces agissant sur un point ne peut pas être déterminée uniquement à partir de ses grandeurs, il faut également tenir compte de sa direction. La résultante de deux ou de plusieurs forces agissant sur un point d'un plan est une force unique du même plan qui a le même effet que la combinaison des forces individuelles. Si une force présente donc la même grandeur que la résultante, mais qu'elle agit dans la direction opposée, le corps est en équilibre. La résultante peut être déterminée de manière analytique ou par des méthodes graphiques à l'aide de différentes règles (parallélogramme, triangle, polygone de forces).

D'après la règle du parallélogramme de forces, deux forces agissant en même temps sur un corps sont représentées dans leur grandeur et dans leur direction par deux côtés opposés d'un parallélogramme. Tant la grandeur que la direction de la résultante sont déterminées par la diagonale dont le point de départ se situe sur le même point.



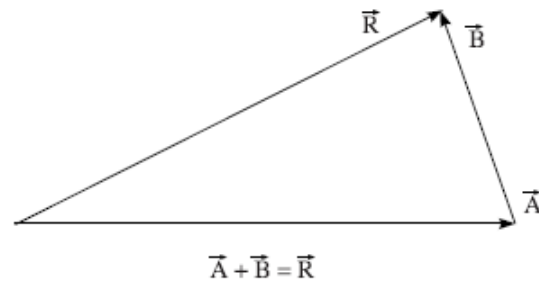
Cet énoncé peut être exprimé mathématiquement de la manière suivante. Si l'écart entre deux forces  $\vec{A}$  et  $\vec{B}$  agissant sur un corps représente l'angle  $\theta$ , la résultante  $\vec{R}$  est déterminée par

$$R = \sqrt{A^2 + B^2 + 2AB \cos \theta}$$

Si  $\alpha$  est l'angle entre la résultante et la force  $\vec{A}$  :

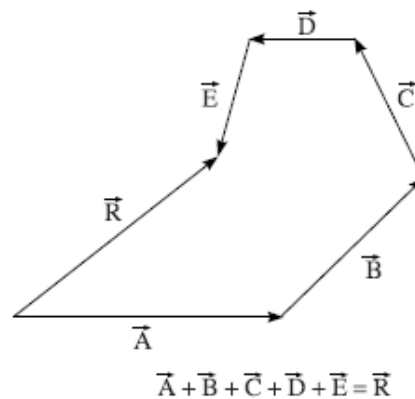
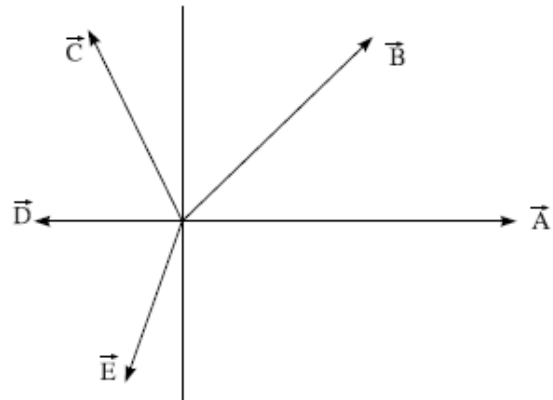
$$\tan \alpha = \frac{B \sin \theta}{A + B \cos \theta}$$

D'après la règle du triangle de forces, deux forces agissant en même temps sur un corps sont représentées dans leur grandeur et dans leur direction par deux côtés de même sens d'un triangle. Tant la grandeur que la direction de la résultante sont déterminées par le troisième côté opposé aux deux premiers.



Il en résulte qu'un corps est en équilibre lorsque trois forces, représentées par les côtés d'un triangle, agissent sur lui.

Si plus de deux forces agissent en même temps sur un corps, on appliquera la règle du polygone de forces. D'après cette règle, la grandeur et la direction de plusieurs forces ayant le même point d'attaque sont représentées par un polygone ouvert, dont les côtés ont le même sens. La résultante est déterminée par le côté qui ferme le polygone dans le sens opposé aux autres côtés.



Aussi un corps, sur lequel agissent plusieurs forces, est en équilibre lorsque les forces peuvent être représentées par un polygone fermé. La somme vectorielle des forces individuelles est égale à zéro et, par conséquent, la résultante est également nulle.

En observant cette situation de plus près, on constate que la règle du polygone de forces ne représente qu'une simple extension de la règle du triangle de forces.

La table de forces est un instrument qui permet de démontrer l'addition vectorielle et l'équilibre de forces ainsi que de confirmer les méthodes graphiques et analytiques. Il est possible de démontrer l'équilibre entre deux ou trois forces et de déterminer tant la grandeur que la direction de chaque force.

## 4. Manipulation

### 4.1 Montage de l'appareil

- Placer le pied sur une surface plane.
- Visser la barre du milieu dans le pied.
- Positionner avec force la plaque de travail sur la barre du milieu.
- Placer le plateau inférieur sur la perforation centrale et visser le support pour cordes.
- Disposer les galets de renvoi avec des fixations aux repères  $0^\circ$ ,  $120^\circ$  et  $240^\circ$  de la plaque de travail.
- Placer l'anneau au-dessus du support au centre de la plaque de travail.
- Placer les cordes sur les galets de renvoi, accrocher les poids à fentes sur les suspensions et utiliser des poids à fente identiques.
- L'anneau doit être en équilibre.

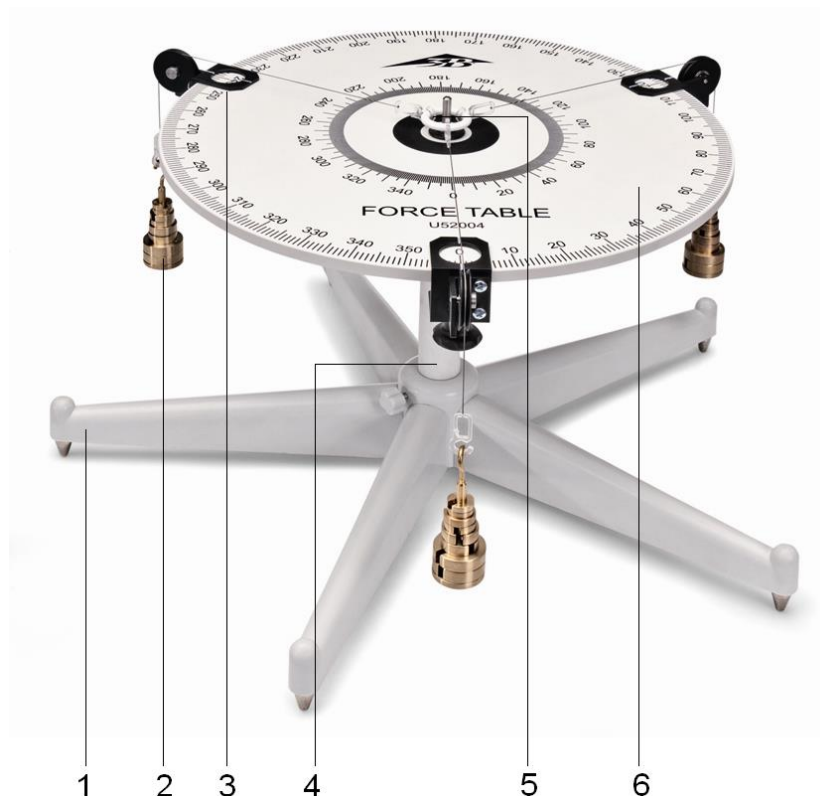
### 4.2 Exemple d'expérience : Addition vectorielle

- Monter la table comme décrit ci-dessus.
- Placer une masse de 20 g et une de 50 g à  $0^\circ$  et  $120^\circ$  sur chacune des suspensions de poids.
- Etablir un équilibre en accrochant des masses à la troisième suspension et en choisissant un angle approprié. Aux fins de contrôle, soulever l'anneau, puis le laisser retomber. Si l'anneau revient au centre, l'équilibre est obtenu. Si ce n'est pas le cas, procéder à des ajustages supplémentaires.
- Calculer la grandeur et la direction de la force nécessaires pour obtenir un équilibre. Comparer la grandeur théorique avec la valeur obtenue par l'expérience.
- Dessiner à l'échelle la direction et la grandeur des différentes forces ; confirmation de la règle du triangle de forces.
- Répéter l'expérience avec différentes masses et différents angles.

## Tavolo delle forze 1000694

### Istruzioni per l'uso

10/13 ALF



- 1 Piede
- 2 Supporti per pesi con pesi a fessura
- 3 Morsetti con pulegge
- 4 Asta centrale
- 5 Supporto per corde
- 6 Piano di lavoro

#### 1. Descrizione

La tavola delle forze serve per dimostrare che la forza è una grandezza vettoriale e per l'analisi quantitativa della composizione e della scomposizione delle forze.

La tavola delle forze è costituita da un piano di lavoro circolare su piede stabile con doppia scala della graduazione angolare. I pesi vengono appesi a corde dotate di ganci su tre pulegge con fermi di fissaggio. I tre set di pesi a fessura, in ottone, sono costituiti ciascuno da pesi di 2x 5 g, 2x 10 g, 2x 20 g e 2x 50 g, e da un supporto per pesi da 50 g.

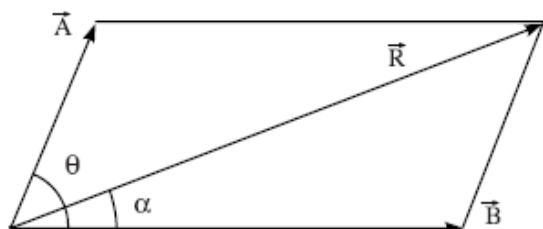
#### 2. Dati tecnici

Dimensioni: ca. 300 mm x 390 mm Ø  
 Scala: da 0 a 360° con divisione da 1°  
 Peso: ca. 3 kg

### 3. Principio

Le forze sono grandezze vettoriali. Quindi la forza risultante di due forze che agiscono su un unico punto non può essere determinata solo in base alle loro intensità, ma necessariamente anche in base alla loro direzione. La risultante di due o più forze che agiscono in un piano su un punto è un'unica forza sullo stesso piano, che causa lo stesso effetto dato dalla combinazione delle singole forze. Quindi se una forza ha la stessa intensità della risultante, ma agisce in direzione contraria, il corpo si trova in stato di equilibrio. La risultante può essere determinata in modo analitico o con metodi grafici mediante diverse leggi (parallelogramma delle forze, triangolo delle forze, poligono delle forze).

Secondo la legge del parallelogramma delle forze, le intensità e le direzioni di due forze che agiscono contemporaneamente su un corpo vengono rappresentate da due lati adiacenti di un parallelogramma. L'intensità e la direzione della risultante sono rappresentate dalla diagonale che si origina dallo stesso punto.



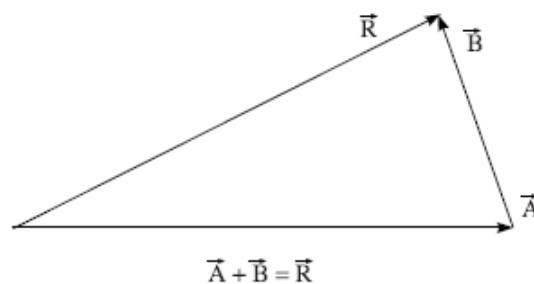
È possibile esprimere questo teorema in modo matematico come segue. Se due forze  $\vec{A}$  e  $\vec{B}$  che agiscono su un corpo comprendono l'angolo  $\theta$ , la risultante  $\vec{R}$  si ottiene da:

$$R = \sqrt{A^2 + B^2 + 2AB \cos \theta}$$

Se  $\alpha$  è l'angolo compreso fra la risultante e la forza  $\vec{A}$ , si ha

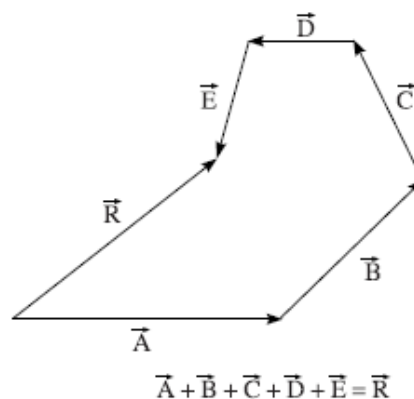
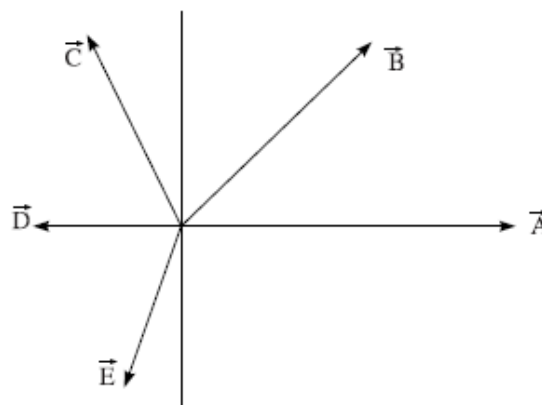
$$\tan \alpha = \frac{B \sin \theta}{A + B \cos \theta}$$

Secondo la legge del triangolo delle forze, l'intensità e la direzione di due forze che agiscono contemporaneamente su un corpo vengono rappresentate da due lati di un triangolo che hanno lo stesso verso. L'intensità e la direzione della risultante sono rappresentate dal terzo lato nel verso contrario rispetto ai due lati precedenti.



Si evince che un corpo si trova in equilibrio se su di esso agiscono tre forze rappresentate dai lati di un triangolo.

Se su un corpo agiscono più di due forze contemporaneamente, si applica la legge del poligono delle forze. Le intensità e le direzioni di più forze con punto di applicazione comune vengono rappresentate da un poligono aperto i cui lati hanno lo stesso verso. La forza risultante è costituita dal lato che chiude il poligono nel verso contrario rispetto agli altri lati.



Quindi un corpo su cui agiscono più forze si trova in equilibrio se le forze possono essere rappresentate da un poligono chiuso. La somma vettoriale delle singole forze è uguale a zero e quindi anche la risultante è uguale a zero.

Una riflessione più approfondita su questa affermazione mostra che la legge del poligono delle forze non è altro che un'estensione della legge del triangolo delle forze.

La tavola delle forze è uno strumento idoneo per dare una dimostrazione della somma vettoriale e dell'equilibrio delle forze e anche per confermare i metodi grafici e analitici. È possibile dimostrare lo stato di equilibrio fra due o tre forze e determinare in modo semplice l'intensità e la direzione di ogni forza.

## 4. Utilizzo

### 4.1 Assemblaggio dell'apparecchio

- Posizionare il piede su una superficie piana.
- Fissare in verticale l'asta centrale nel piede.
- Infilare il piano di lavoro sull'asta centrale.
- Mettere la rondella sul foro centrale e avvitare il supporto per corde.
- Applicare le pulegge con morsetti in corrispondenza delle marcature a  $0^\circ$ ,  $120^\circ$  e  $240^\circ$  presenti sul piano di lavoro.
- Collocare l'anello sul sostegno al centro del piano di lavoro.
- Posizionare le corde sopra le pulegge; agganciare il supporto per pesi e collocare gli stessi pesi a fessura.
- L'anello dovrebbe essere in equilibrio.

### 4.2 Esempio di esperimento: addizione di vettori

- Assemblare la tavola delle forze come descritto in precedenza.
- Collocare un peso da 20 g e un peso da 50 g su un supporto per pesi a  $0^\circ$  e  $120^\circ$ .
- Sul terzo supporto per pesi collocare i pesi necessari e scegliere un angolo adatto per ristabilire l'equilibrio. Eseguire la verifica sollevando l'anello e lasciandolo ricadere. Se l'anello ricade in centro, si ha una situazione di equilibrio. In caso contrario, è necessario procedere ad ulteriori aggiustamenti.
- Calcolare l'intensità e la direzione della forza necessaria per raggiungere l'equilibrio, confrontare i dati teorici con i valori ottenuti sperimentalmente.
- Disegnare in scala l'intensità e la direzione delle diverse forze; conferma della legge del triangolo delle forze.
- Ripetere l'esperimento con diversi pesi e angoli.

## Mesa de forças 1000694

### Manual de instruções

10/13 ALF



- 1 Pé
- 2 com pesos de entalhe
- 3 Pinças com polias de desvio
- 4 Barra central
- 5 Suporte para corda
- 6 Placa de trabalho

### 1. Descrição

A mesa de forças serve para a comprovação que a força é uma magnitude vetorial assim como para a análise quantitativa da composição e decomposição de forças.

A mesa de forças consiste numa placa de trabalho circular sobre um pé estável com escala dupla da divisão angular. Por sobre as três polias de desvio com pinças de fixação são pendurados pesos com ganchos em cordas. Os três conjuntos de pesos de entalhe de latão consistem em pesos de 2x 5 g, 2x 10 g, 2x 20 g e 2x 50 g cada um, assim como um suspensório de pesos de 50 g.

### 2. Dados técnicos

Dimensões:                   aprox. 300 mm x 390 mm Ø  
 Escala:                        0 até 360° com divisão de 1°  
 Massa:                         aprox. 3 kg

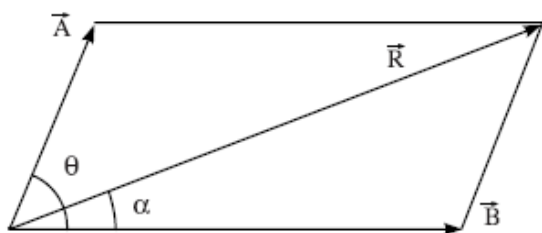


### 3. Princípio

Forças são magnitudes vetoriais. Por isso, a força compensatória resultante de duas forças agindo num mesmo ponto, não pode ser determinada só pelas suas magnitudes, mas também devem ser levadas em consideração as suas direções. A resultante de duas ou mais forças agindo num mesmo plano é uma força única no mesmo plano, a qual produz o mesmo efeito que a combinação das forças individuais.

Portanto, se uma força tem a mesma magnitude que a resultante, mais age contrária em direção, o corpo encontra-se então em situação de equilíbrio. A resultante pode ser determinada de modo analítico ou com métodos gráficos por meio de diferentes leis (paralelogramo de forças, triângulo de forças, polígono de forças).

Segundo a lei do paralelogramo de forças, duas forças que agem simultaneamente sobre um corpo são representadas na sua magnitude e direção por dois lados adjacentes de um paralelogramo. A resultante se produz tanto em magnitude como em direção a partir das diagonais que têm a sua saída no mesmo ponto.



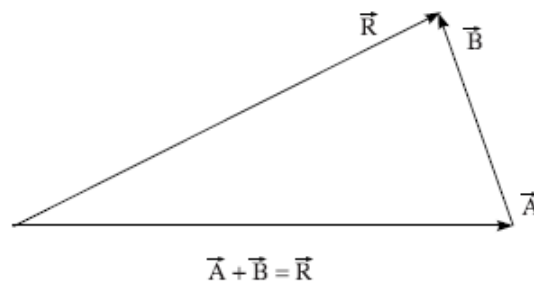
Este teorema pode ser expresso matematicamente da seguinte forma. Quando entre duas forças  $\vec{A}$  e  $\vec{B}$  que agem sobre um corpo, existe o ângulo  $\theta$ , a resultante  $\vec{R}$  decorre de:

$$R = \sqrt{A^2 + B^2 + 2AB \cos \theta}$$

Se  $\alpha$  é o ângulo entre a resultante e a força  $\vec{A}$ , então será

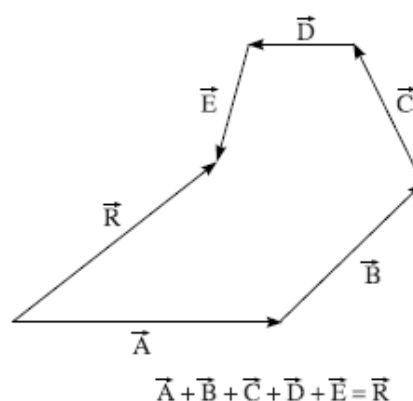
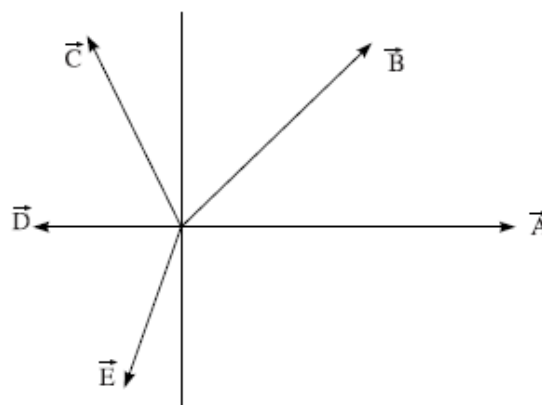
$$\tan \alpha = \frac{B \sin \theta}{A + B \cos \theta}$$

Segundo a lei do triângulo de forças, duas forças que agem simultaneamente sobre um corpo são representadas na sua magnitude e direção por dois lados de um triângulo que têm o mesmo sentido de direção. A resultante decorre, tanto em magnitude como na sua direção, do terceiro lado em sentido de direção contrária a ambos os lados anteriores.



Disto resulta que um corpo se encontra em equilíbrio quando três forças agem sobre ele, que são representadas pelos três lados de um triângulo.

Se mais de duas forças agem simultaneamente sobre um corpo, então, a lei do polígono de forças encontra a sua aplicação. Segundo esta lei, várias forças com ponto de ataque comum na sua magnitude e direção são representadas por um polígono aberto, cujos lados possuem o mesmo sentido de direção. A força compensatória resultante decorre do lado que fecha o polígono em direção contrária dos outros lados.



Por isso, um corpo sobre o qual agem várias forças, encontra-se em equilíbrio, quando as forças podem ser representadas em forma de um polígono fechado. A soma dos vetores das forças individuais é igual a zero, e por isso, a resultante também é zero.

Uma observação mais detalhada destes fatos mostra que a lei do polígono de forças é só uma extensão simples da lei do triângulo de forças.

A mesa de forças é um instrumento adequado para a demonstração da adição de vetores e do equilíbrio de forças, assim como para a comprovação dos métodos gráficos e analíticos. O estado de equilíbrio entre duas ou três forças pode ser demonstrado, e tanto a magnitude como a direção de cada força pode ser determinada com facilidade.

## 4. Utilização

### 4.1 Montagem do aparelho

- Colocar o pé sobre uma superfície plana.
- Aparafusar a barra central verticalmente no pé.
- Pressionar a placa de trabalho com força sobre a barra central.
- Colocar a arruela sobre a furação central e aparafusar o suporte para as cordas.
- Montar as polias de desvio com pinças nas marcas de  $0^\circ$ ,  $120^\circ$  e  $240^\circ$  da placa de trabalho.
- Colocar o anel sobre o suporte no ponto central da placa de trabalho.
- Colocar as cordas sobre as polias de desvio, pendurar os suspensórios para pesos e colocar pesos de entalhe iguais.
- O anel deveria encontrar-se em equilíbrio.

### 4.2 Exemplo de Experiência: adição de vetores

- Montar a mesa de força como descrito acima.
- Colocar uma massa de 20 g e outra de 50 g num suspensório de pesos em  $0^\circ$  e  $120^\circ$ .
- Estabelecer o equilíbrio colocando massas e escolhendo um ângulo adequado no terceiro suspensório. Para a verificação, levantar o anel e deixá-lo cair. Se o anel cair de volta no centro, foi atingido o estado de equilíbrio. Em caso contrário, mais ajustes devem ser feitos.
- Calcular a magnitude e a direção da força necessária para atingir o equilíbrio. Comparação da magnitude teórica com o valor obtido experimentalmente.
- Desenhar conforme a escala as diferentes forças em direção e magnitude; comprovação da lei do triângulo de forças.
- Repetir a experiência com massas e ângulos diferentes.