

1. はじめに

三力の合成実験器(ME-9447)は、つり合いの概念を用いたベクトルの合成を物理的に演示する装置です。ベクトルは、プーリーを介して吊り下げられるおもりの重さによる力です。ある角度に配置されたプーリーを介して吊り下げられるおもりは、別の角度に配置されたプーリーを介して吊り下げられた他のおもりによって平衡が保たれます。

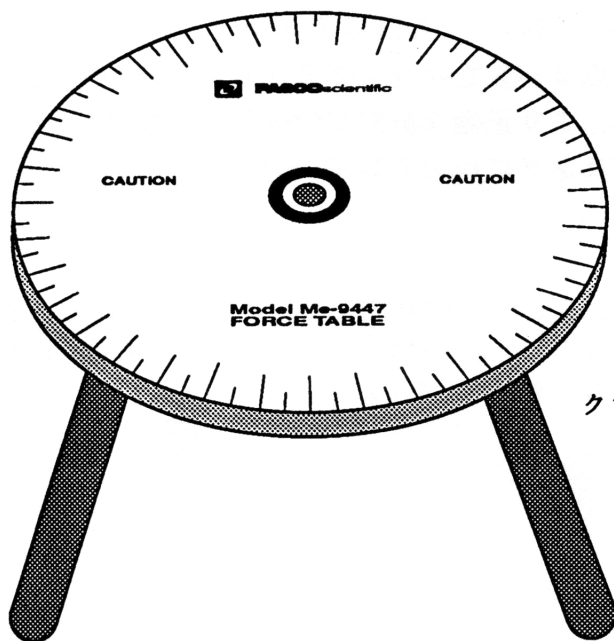
三力の合成実験器には、いくつかの優れた特長があります。

- ・軽量です。(プーリーを装着して200g以下)
- ・狭いスペースに収納できる。
- ・プーリーの摩擦が非常に小さい。
- ・プーリークランプによって、正確に角度が読み取れる。
- ・糸の結び目や付属のリングを中心に合わせることで、平衡が得られる。

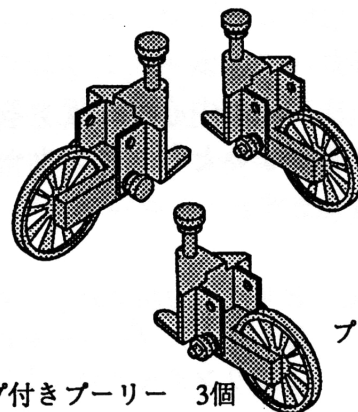
2. 構成品

三力の合成実験器 (ME-9447) の構成品は、次のとおりです。

- ・実験台 (センターポスト、取り外し可能な脚3本付き)
- ・クランプ付きプーリー 3個
- ・おもり掛け 3個
- ・プラスチックリング
- ・糸
- ・取扱説明書 (実験ガイド付き)



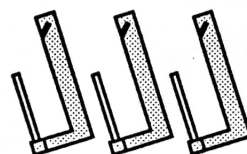
実験台 (センターポスト、取り外し可能な脚)



クランプ付きプーリー 3個



プラスチックリング



おもり掛け 3個



糸

関連機器

- ・力学実験用おもりセット (ME-9348)

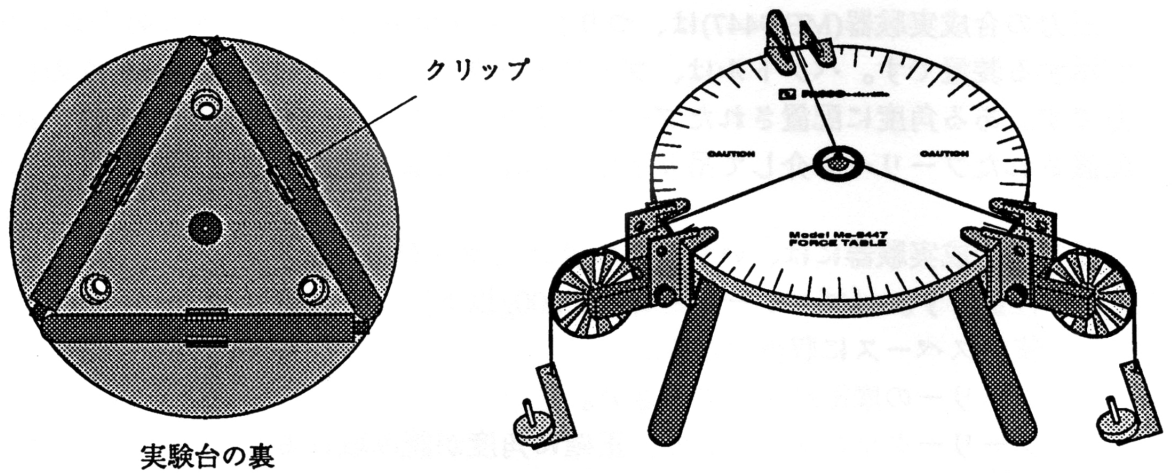


図1 三力の合成実験器

3. 組み立て

- ① 3本の脚を実験台の裏のクリップからはずしません。
- ② 3本の脚を実験台の裏の穴にネジ込みます。
- ③ 3個のクランプ付きプーリーを実験台の縁に固定します。もし二つ以上の力が加えられる場合には、平衡力を得るために、必要な数にプラス1の数のクランプ付きプーリーを用います。

実験台に糸を固定するには、2つの方法があります。1つは、実験台の中心でリングを用いる方法で、もう1つは、実験台の中心の穴にアンカーストリングを通す方法です。アンカーストリングの利点は、大きなリングの代わりに1つの小さな結び目が、リングの中心に位置するので、より正確な測定ができることです。また、平衡状態でないとき、アンカーストリングにはおもりが一方に落ちるのを防ぐ利点もあります。

☛**ご注意：**どちらの方法においても、糸が実験台の表面に平行で、できるだけ角度目盛に近付くようにプーリーを調整することが重要です。プーリーを調整する際、実験台上にリングをそのままにしておかないで下さい。

3.1 リングによる方法

図2を参考にして下さい。この方法の場合、実験台の上方にセンターポストが突き出て来るまでネジ込みます。30cmの長さの糸をリングに結び、リングをセンターポストに通します。糸は、リングからプーリーまでの距離よりも長くなければなりません。それぞれの糸の先におもり掛けを結び、糸をプーリーに掛けます。

☞ ご注意：おもり掛けの切り込みに4、5回糸を巻きつければ十分です。

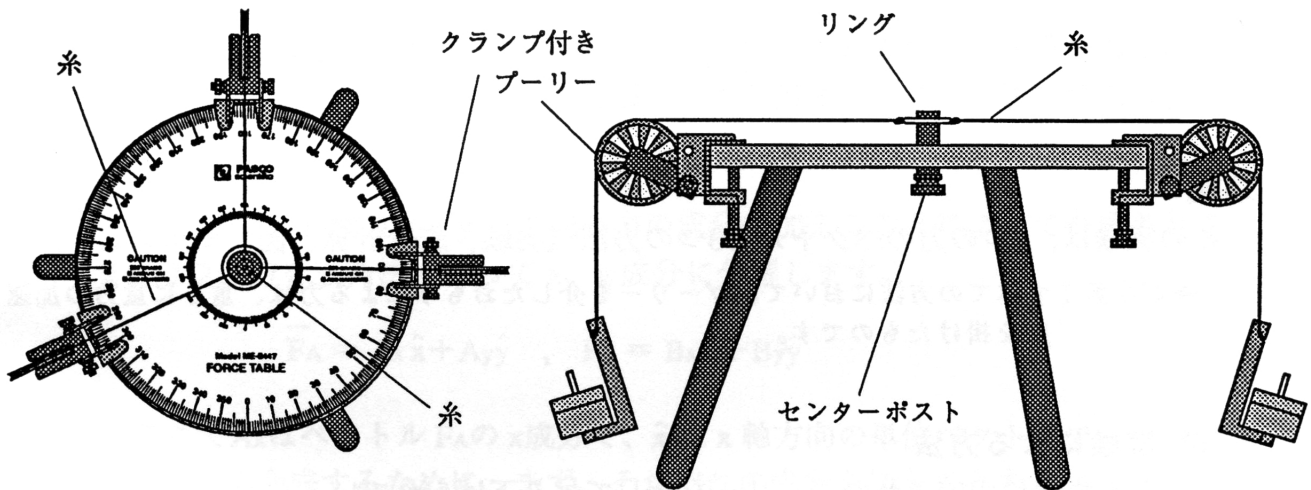


図2 リングによる方法

3.2 アンカースtringによる方法

図3を参考にして下さい。60cmの長さの糸を2本用意し、それらの中心で“X”字になるよう結び合わせます。3本の糸はプーリーへ行き、残りの1本はアンカースtringとしてセンターポストの穴に通し、1本の脚に結びます。センターポストの上面は、実験台の表面にくるようにあわせませす。そして、プーリーを介した3本の糸におもり掛けを結び付けます。

☞ ご注意：おもり掛けの切り込みに4、5回糸を巻きつければ十分です。

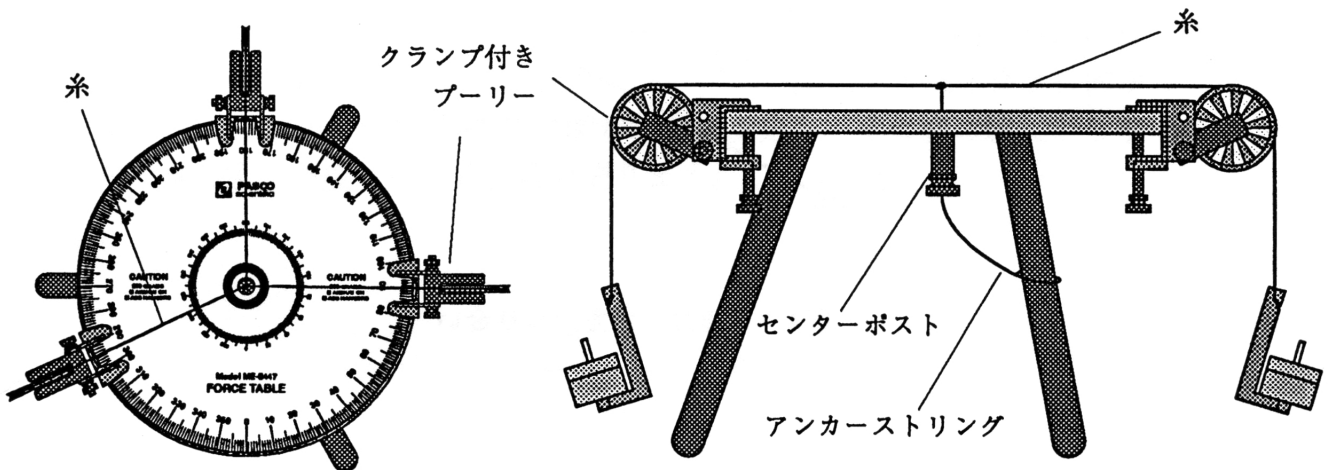


図3 アンカースtringによる方法

4. 実験：ベクトルの合成

必要構成品

- | | |
|-----------|----------------|
| ・実験台 | ・クランプ付きプーリー 3個 |
| ・おもり掛け 3個 | ・おもりセット |
| ・糸 | ・メートル定規 |
| ・分度器 | ・紙 2枚 |

実験目的

この実験の目的は、異なった2つの力につり合う力を実験的に求めることです。結果は、力の成分で考えたり、図を描くことで確認できます。

理論

この実験は、2つの力のベクトルを3つの方法（実験、成分計算、図）で求めます。

☞ ご注意：すべての方法において、プーリーを介したおもりによる力は、重さに重力の加速度を掛けたものです。

1) 実験による方法

ある角度に固定されたプーリーを介して吊り下げられているおもりによって実験台上で2つの力を加えます。そして、3番目のプーリーの位置（角度）とそこに吊り下げられるおもりの質量を他の2つの力とつり合うように調整します。この3番目の力は平衡状態にする力なので、平衡力（ F_E ）と呼ばれます。平衡力（ F_E ）は合力（ F_R ）と同じではありません。合力は2つの力を合わせたものです。大きさにおいて、平衡力と合力は等しいですが、つり合っているので向きは反対です。（図4）つまり平衡力とは、マイナスの合力です。

$$-\vec{F}_E = \vec{F}_R = \vec{F}_A + \vec{F}_B$$

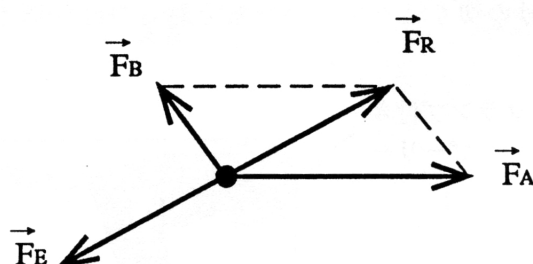


図4 平衡力と合力のつり合い

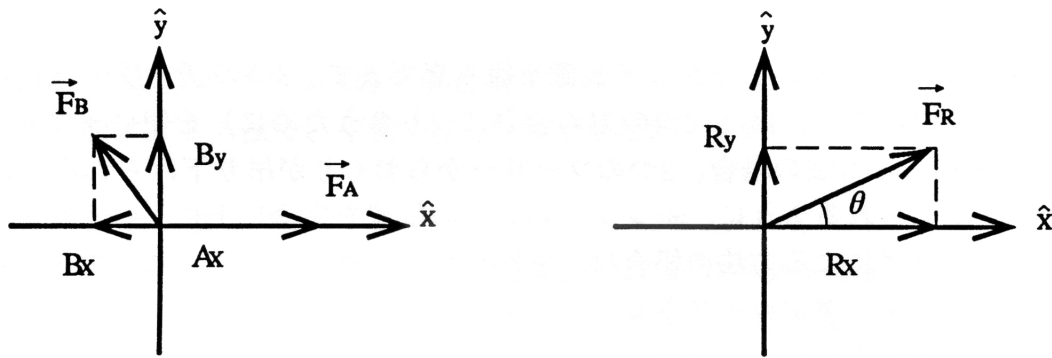


図5 成分表示

2) 成分計算による方法

2つの力は、x軸方向とy軸方向の力の成分を加えることによって合成されます。まず2つの力を三角法によってx、y成分に分解します。

$$\vec{F}_A = A_x \hat{x} + A_y \hat{y} \quad , \quad \vec{F}_B = B_x \hat{x} + B_y \hat{y}$$

ここで A_x はベクトル \vec{F}_A のx成分で、 \hat{x} はx軸方向の単位ベクトルです(図5)。 \vec{F}_A と \vec{F}_B を合成するために、まず、それぞれの成分を加えて合力 \vec{F}_R の成分を求めます。

$$\vec{F}_R = (A_x + B_x) \hat{x} + (A_y + B_y) \hat{y} = R_x \hat{x} + R_y \hat{y}$$

さらに合力の大きさと向き(角度)について考えます。合力の成分(R_x 、 R_y)は互いに直角なので、ピタゴラスの定理より

$$F_R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$$

また、三角法より

$$\tan \theta = \frac{R_y}{R_x} \quad \text{となります。}$$

3) 図による方法

定規と分度器を使って、2つの力を描いて合成します。2番目の力(\vec{F}_B)の始点は1番目の力(\vec{F}_A)の終点です。合力(\vec{F}_R)は \vec{F}_A の始点から \vec{F}_B の終点に向かって描きます。(図6)合力の大きさは、図から直接測定し、その図の縮尺から求めることができます。角度 θ は、分度器で測ります。

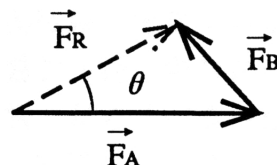


図6 ベクトルの加算

準備

- ① “組み立て”の節にしたがって装置を組み立てます。3つのプーリー（2つは合成される力のために、1つは2つの力の合力につり合うために）を使います。
- ② リングによる方法の場合、2つのプーリーからおもりが吊り下げられるときに、リングを支えられるように、センターポストの位置を完全に上に上げます。アンカーストリングによる方法の場合は、実験台の表面にセンターポストの上面をあわせておきます。アンカーストリングが実験台の脚の1本に結ばれているか確認して下さい。というのも、アンカーストリングは2つのプーリーから吊られるおもりにつながれた糸を支えるものだからです。
- ③ それぞれのプーリーの角度と、そこに吊り下げられるおもりの質量を下に示します。

$$\text{力 A} = 50\text{g} \quad (0^\circ)$$

$$\text{力 B} = 100\text{g} \quad (120^\circ)$$

実験手順（実験による方法）

他の2つのおもりによって糸に掛かる力とつり合わせるために、3番目のプーリーの角度とそのプーリーに吊るすおもりの質量を試行錯誤の末、見つけだします。この3番目の力は平衡状態にする力なので、平衡力 (\vec{F}_E) と呼ばれます。平衡力はマイナスの合力です。

$$-\vec{F}_E = \vec{F}_R = \vec{F}_A + \vec{F}_B$$

平衡状態になったときの3番目のプーリーの角度と、つられるおもりの質量を表1に記録します。平衡状態であるかどうかは、以下の基準から判断して下さい。

1) リングによる方法の場合

平衡状態にあるとき、リングはセンターポストを中心として止まっているはずで、センターポストの上面を実験台の表面にあわせると、もはやリングをそこに維持することはできなくなります。そして、リングを一方に少し引いて放します。リングが中心に戻ることを確かめて下さい。もしそうならないときは、常にリングが中心に戻るようにおもりの質量か、プーリーの角度、またはその両方を調整します。

2) アンカーストリングによる方法

平衡状態にあるとき、結び目はセンターポストの穴の中心に止まっており、アンカーストリングはたるんでいるはずで、糸が実験台の表面に接近するまで、プーリーを調整します。結び目を一方に少し引いて放します。結び目が中心に戻ることを確かめて下さい。もしそうならないときは、常に結び目が中心に戻るようにおもりの質量か、プーリーの角度、またはその両方を調整します。

考察

理論的に、3番目のプーリーの角度と吊り下げられるおもりの質量を求めるために、成分計算や図による方法で、平衡力(\vec{F}_E)の大きさと向きを計算します。

1) 成分計算による方法

平衡力の大きさを求めるために、力Aと力Bの成分ベクトルを加えます。また、三角法を使って向きを決めます。平衡力の向きは、合力の向きの正反対であることに注意して、結果を表1に記録します。

2) 図による方法

力Aと力Bのベクトル図を描きます。平衡力の大きさと向きを測定するために、定規と分度器を使います。平衡力の向きは、合力の向きの正反対であることに注意して、結果を表1に記録します。

3) 平衡力の大きさと向きの理論値と実測値をそれぞれ比較してみなさい。

| 方 法 | 平 衡 力 (\vec{F}_E) | |
|--------------|-----------------------|------------------|
| | 大 小 さ | 向 き (θ) |
| 実験による方法 | | |
| 成分計算 $R_x =$ | | |
| $R_y =$ | | |
| 図による方法 | | |

表1 ベクトルの合成の3つの方法による結果

5. 付録

保管方法

この装置は、プーリーを付けた状態でも、はずした状態でも保管できます。収納スペースを最小にするには、脚を実験台から取りはずし、実験台の裏面にあるクリップに止めます。これで棚の上に上げておけます。

角度目盛り板

最後に、実験台の表面を縮小したものを載せています。これらは、糸の位置を描くために実験台にかぶせて繰り返し使うことができます。

