



The 41st International Physics Olympiad
Croatia
Experimental Competition
Wednesday, July 21st, 2010

Please read this first:

1. The time given is 5 hours.
2. There are two experimental problems. Each experiment is awarded 10 points.
3. Use only the provided setup, pencil, and sheets.
4. Write your solutions in the **Answer sheets**. **Working sheets** can be used if necessary. *All will be considered for marks.*
5. When using working sheets:
 - Use only the front side of the paper. Start each part on a fresh sheet of paper.
 - On every paper, write:
 - 1) the **Task No.** for the task attempted
 - 2) the **Page No.** - the progressive number of each sheet for that part
 - 3) the **Total No. of Pages** used for that part
 - 4) your **Country Code** and your **Student Code**
 - Write concisely – Limit the use of text to minimum. Use equations, numbers, symbols, figures and graphs as far as possible.
 - Cross out pages that you do not wish to be marked. Do not include them in your numbering.
6. For each task, use the **Answer Sheet** to fill in your *final answer* in the appropriate box. Give the appropriate number of significant figures. Remember to state the units.
7. When you have finished, arrange all sheets in this order *for each part*:
 - the **Answer Sheet**
 - writing sheets that you wish to be marked
 - writing sheets that you do not wish to be markedPlace all unused sheets, graph papers and the question paper at the bottom.
8. Clip *all sheets* together and leave them on your desk.
9. You are not allowed to take *any* sheet of paper or *any* material used in the experiment out of the examination hall.



Separate instructions for using the scale



The scale is turned **ON-OFF** by the **right button**.

The **middle button** (Z/T) sets the digits to zero, that is, this is the **TARA** function.

The **left button** can be used to change **units**.

Instruction: Put units to grams in case it is in other units!

Separate instructions for using the press

The press is used in both problems. The upper part of the press is turned up-side down in the second experiment as compared to the first. **Its position is illustrated in the tasks themselves.** The stone is to be placed on the upper part of the press. Its weight helps the upper part of the press to slide down when you turn the wing-nut (if you find necessary, you can gently press the upper part by your hand (close to the vertical bar) while you turn the wing nut to ensure smooth sliding of the press). **For performing measurements, you should use the fact that the upper part of the press moves 2 mm when the wing nut is rotated 360 degrees.**



SAFETY WARNING

You should be careful when playing with the wooden stick, the rod magnet and the hollow cylinder.

Be careful not to stick the wooden stick in your eyes!!!

Do not look with your eyes into the hollow cylinder when playing with the rod magnet inside the cylinder. It can be ejected from the cylinder and injure your eyes.

実験問題 1

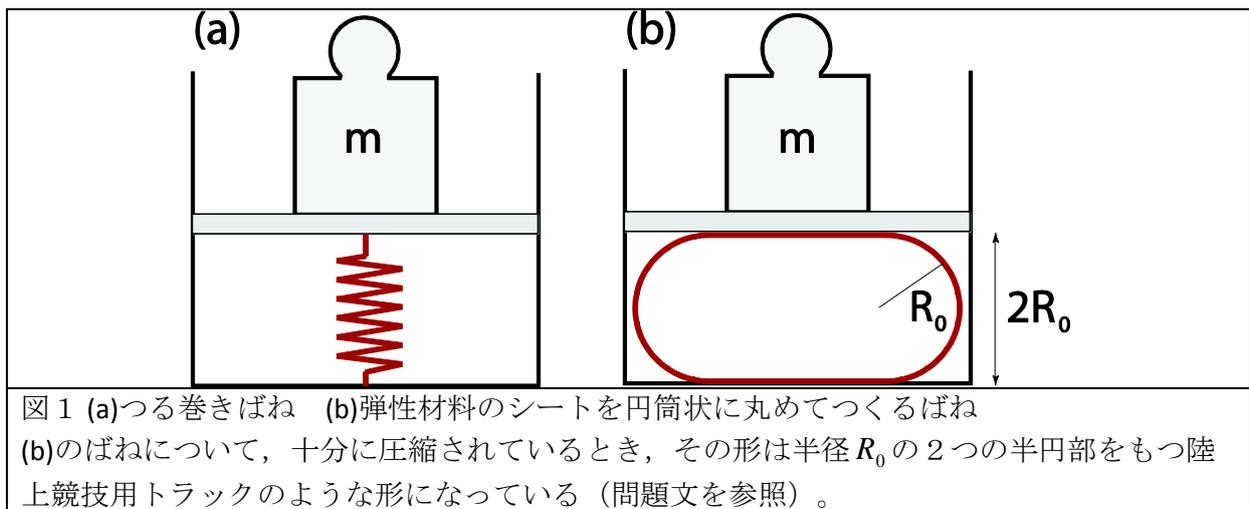
実験問題は2問である。机の上にある実験器具は両方の問題に共通である。試験時間は2問で5時間である。

実験問題 1: シートの弾性

導入

ばねは、力学的エネルギーを蓄える弾性的な性質を持つ材料（弾性材料）からできている。普通のつる巻きばねに働く力は、つり合いの位置から押し戻された変位に比例する（線形）というフックの法則で表される。すなわち、 $F = -k\Delta x$ である。ここで F は押す力、 k はばね定数、 Δx はつり合い（平衡）の位置からの変位を表す（図1(a)）。

しかし、いろいろな弾性ばねは普通のつる巻きばねとはまったく異なった形状をしているばかりか、変形が大きくなるとフックの法則は適用できない。この問題では、図1(b)に示すような、弾性材料のシートでつくった弾性ばねの性質を調べる。



透明シートを巻いた円筒ばね

弾性材料でできたシート（ここでは、透明シート）を曲げたものを考える。これをさらに曲げると、さらに大きな弾性エネルギーがシートに蓄えられる。この弾性エネルギーは、シートの曲率（曲がりぐあい）に依存する。シートの曲率の大きな部分は、より多くのエネルギーを蓄える（シートの平らな部分はエネルギーを蓄えない）。

この実験で用いるばねは、長方形の透明なシートを図2のように、円筒状に丸めてつくる。この円筒ばねに蓄えられるエネルギーは、

$E_{el} = \frac{\kappa}{2} \frac{1}{R_c^2} A$	(1)
---	-----

で表される。

ここで、 A は円筒ばねの曲率を持った側面の面積（円形の底面は含まれない）、 R_c は円筒ばねの曲率半径、 κ は曲げ難さを表す係数で、材質の弾性的な性質と、シートの厚みによって決まる。

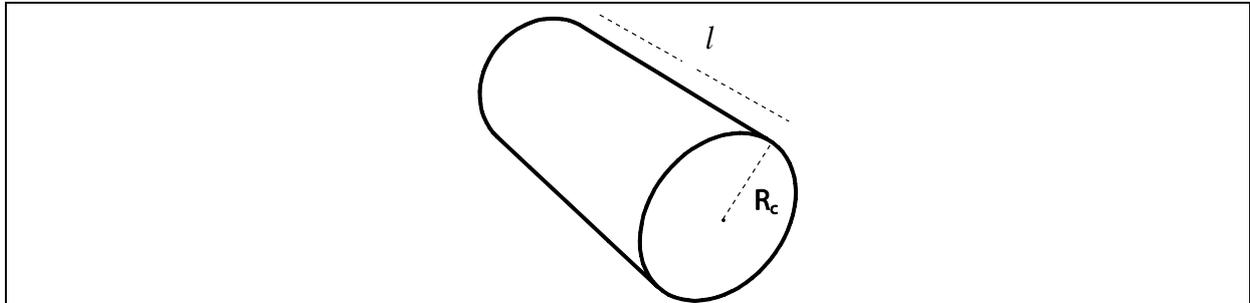


図2 シートを丸めて作った、長さ l 、半径 R_c をもつ円筒ばねの略図である。

図1(b)のように、円筒ばねが圧縮されているものを考える。おもりによって与えられた押す力(F)に対して、平衡状態からの変位は透明なシートの弾性に依存する。押す力を一定の間隔で変化させていくと、圧縮された透明なシートの形は陸上競技用トラックのようになり、その断面の周りは2つの直線と2つの半円周（半径 R_0 ）からなる。圧縮された系のエネルギーが最小となるのは

$R_0^2 = \frac{l\kappa\pi}{2F}$	(2)
---------------------------------	-----

で表される。

力は、電子天秤で測定した質量 m から、 $F = mg$ を用いて求める。ここで重力加速度は、 $g = 9.81\text{m/s}^2$ とする。

実験手順 (実験問題 1)

実験問題1で使用する実験道具は以下のとおりである。

1. ブロック（石）のおもりを載せた圧縮用の板、必要であればカバーシートの説明を読みなさい。
2. 電子天秤（5000gまで計測可能であり、ゼロ点に補正する機能がある。電子天秤の上に、下の圧縮板と曲げたシートを載せ、上の圧縮板がシートに接触する前にゼロ補正するとき用いる。もし必要であれば、カバーシートの説明を読みなさい。）
3. 透明なシート3枚（シートは21cm×29.7cmである。厚み200 μm の青いシート（2枚）、厚み150 μm の無色のシート（1枚）がある。）
シートがさらに必要な場合は、スタッフに頼みなさい。
4. セロテープ（scotchテープ）
5. はさみ
6. 目盛付きの三角定規

7. 長方形の木製の板（木製の板は電子天秤の上に置かれており、透明なシートはこの木製の板の上に置く。）

図3に実験の完成図があるように、おもりは太いネジの近くに、シートののりしろ部分が底辺の中央にくるようにして、下の圧縮板中央に置きなさい。上にある圧縮用の板は留めねじで上下に動くようになっている。圧縮することによってかかる力（質量）はおもりで測定することができる。

重要：留めねじは360度回転させると2mm動く。

細いアルミニウムの棒は実験問題1では使わない。



図3 曲げ難さの係数の測定のための実験装置の完成写真。

問

1. 青いシートを筒状に巻きなさい。1つは長い辺が側面になるように巻き、もう1つは短い辺が側面になるように巻きなさい。のりしろ部分の長さ l の辺をセロテープで固定しなさい。ただし、シート同士ののりしろ幅は0.5cmとしなさい。
 - (a) 上下の圧縮板間の距離と電子天秤の読み（質量）を測定して、表にしなさい。この測定を、縦巻きと横巻きの青いシートについて実験を行いなさい。ただし、青いシートが1枚しかない場合、もう1枚をスタッフに要求しなさい。 (1.9点)
 - (b) 実験結果を、本文にある式を参考に、縦軸と横軸に適切な値を取って直線となる

グラフに描きなさい。このグラフから、筒状シートの曲げ難さを表す係数 κ を求めなさい。その際、定規を用い、図に直線を書き入れ、その傾きを利用しなさい。巻き方の異なる青いシート各々の場合について κ を求めなさい。

グラフが直線になっている領域を丸で囲みなさい。この領域において、 $\frac{R_0}{R_c}$ の比を見積もりなさい。ここで、 R_c はおもりがないときの筒状シートの半径である。
(4.3 点)

この実験では、誤差の見積もりは必要ない。

2. 無色のシートを、短い辺が側面となるように巻いて、曲げ難さを表す係数 κ を求めなさい。
(2.8 点)
3. 曲げ難さを表す係数 κ は、ヤング率 Y (均質な物質の弾性率を表す)、透明なシートの厚み d で決まり、次の式にしたがう。

$\kappa = \frac{Yd^3}{12(1-\nu^2)}$	(3)
-------------------------------------	-----

ここで ν は材質のポアソン比であり、多くの物質は $\nu \approx 1/3$ である。これらの実験結果から、青いシートと無色のシートのヤング率を求めなさい。
(1.0 点)

実験問題 2

実験問題は 2 問である。机の上にある実験器具は両方の問題に共通である。試験時間は 2 問で 5 時間である。

実験問題 2: 2 つの磁石に働く力, 安定性と対称性の概念

導入

面積 S の円形回路を流れる円電流 I は $m = IS$ の大きさの磁気モーメントを生み出す (図 1 (a))。永久磁石は、鉄原子(Fe)の持つ小さな磁気モーメントの集まりと考えることができる。そして、それぞれは円電流の作る磁気モーメントとみなせる。この磁石についてのアンペールのモデルを、図の 1(b)に示した。磁石の磁気モーメントの合計は、S 極から N 極へ点在する小さな磁気モーメントの和である。

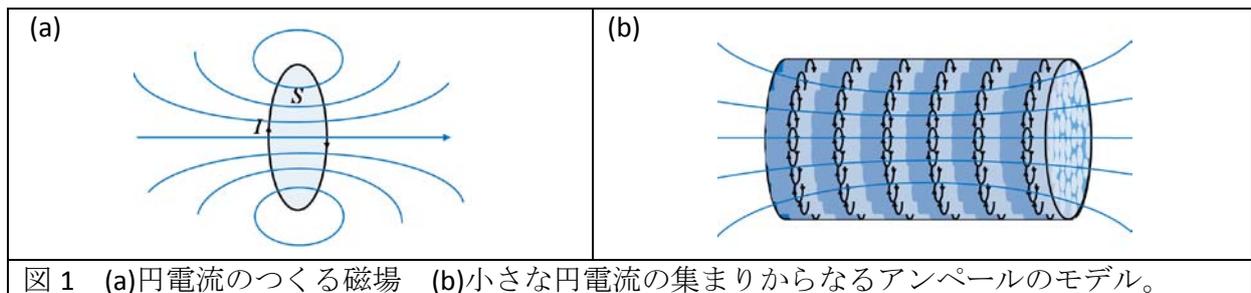


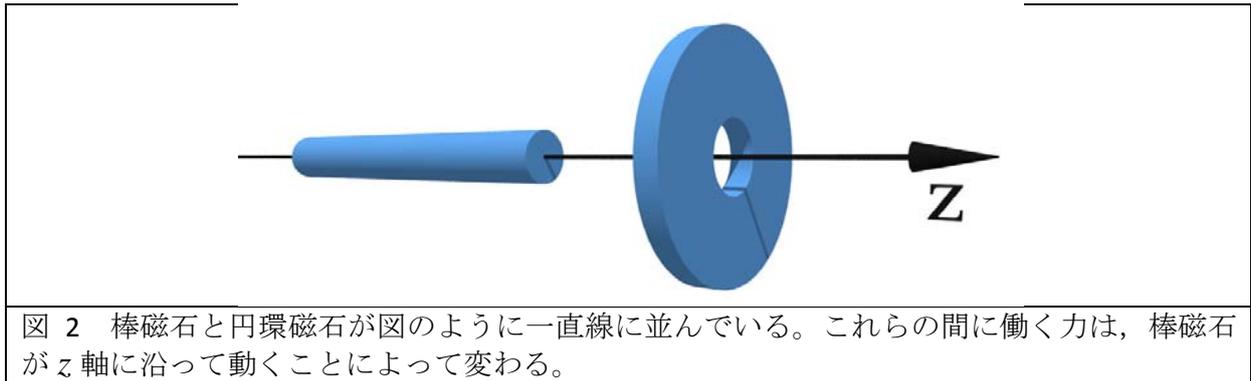
図 1 (a)円電流のつくる磁場 (b)小さな円電流の集まりからなるアンペールのモデル。

磁石の間に働く力

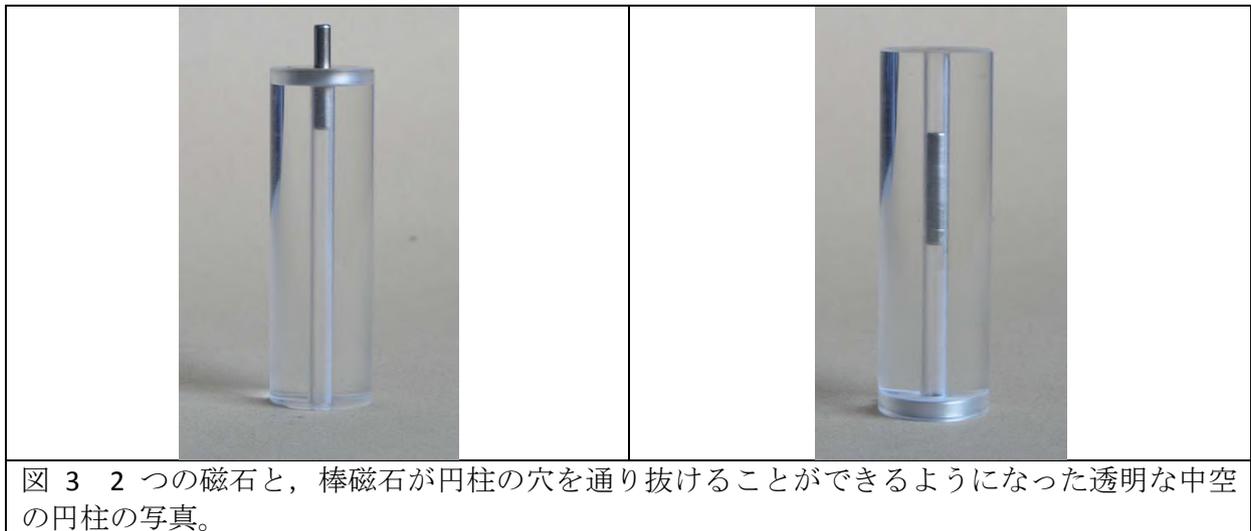
2 つの磁石の間に働く力を計算することは、難問である。2 つの磁石の同極は反発し、異極は引き合うことは知られている。2 つの閉じた電流間に働く力は、そこを流れる電流の強さ、形状、相互の距離に依存する。もし、その閉じた回路の 1 つを流れる電流の向きを反対にした場合、働く力の大きさは変わらないが向きが正反対になる。

この問題では、円環磁石と棒磁石の 2 つの磁石間に働く力を実験的に詳細に調べる。図 2 のように、幾何学的に 2 つの磁石の対称軸が一致する場合は興味深い。棒磁石は、 z 軸に沿って左側から、円環磁石を通過し、右側へ向かって動くことができる。

以下の問題では、磁石間に働く力を z の関数として見積もりなさい。2 つの磁石の中心が一致する場合を、原点 $z = 0$ としなさい。



対称軸 (z 軸) に沿って動く棒磁石の運動方向を保持するために、 z 軸に沿って細い穴があけられている透明な円柱に、円環磁石がしっかりと埋め込まれている。棒磁石は、図 3 のように、その穴の中心を貫く z 軸に沿ってのみ動く。その棒磁石は、 z 軸に沿って磁化している。



実験手順 (実験問題 2)

実験問題 2 で使用する実験道具は以下のとおりである。

1. ブロック (石) のおもりを載せた圧縮板。必要であればカバーシートの説明を読みなさい。
2. 電子天秤 (5000g まで計測可能であり、ゼロ点に補正する機能がある。もし必要であれば、カバーシートの説明を読みなさい。)
3. 端に円環磁石が埋め込まれた透明な中空円柱
4. 棒磁石
5. 細い木製の棒 (円柱から棒磁石を取り出すのに用いる。)

図4に示す装置は、磁石間に働く力を測定するために用いられる。上の板は上下を裏返し、細いアルミニウムの棒を下にせよ。細いアルミニウムの棒は、中空円柱に棒磁石を押し込むのに必要である。電子天秤で、棒磁石を押しこむ力（質量）を計測する。上の圧縮板は留めねじを用いて上下に動かすことができる。

重要：留めねじは 360 度回転させると 2mm 動く。

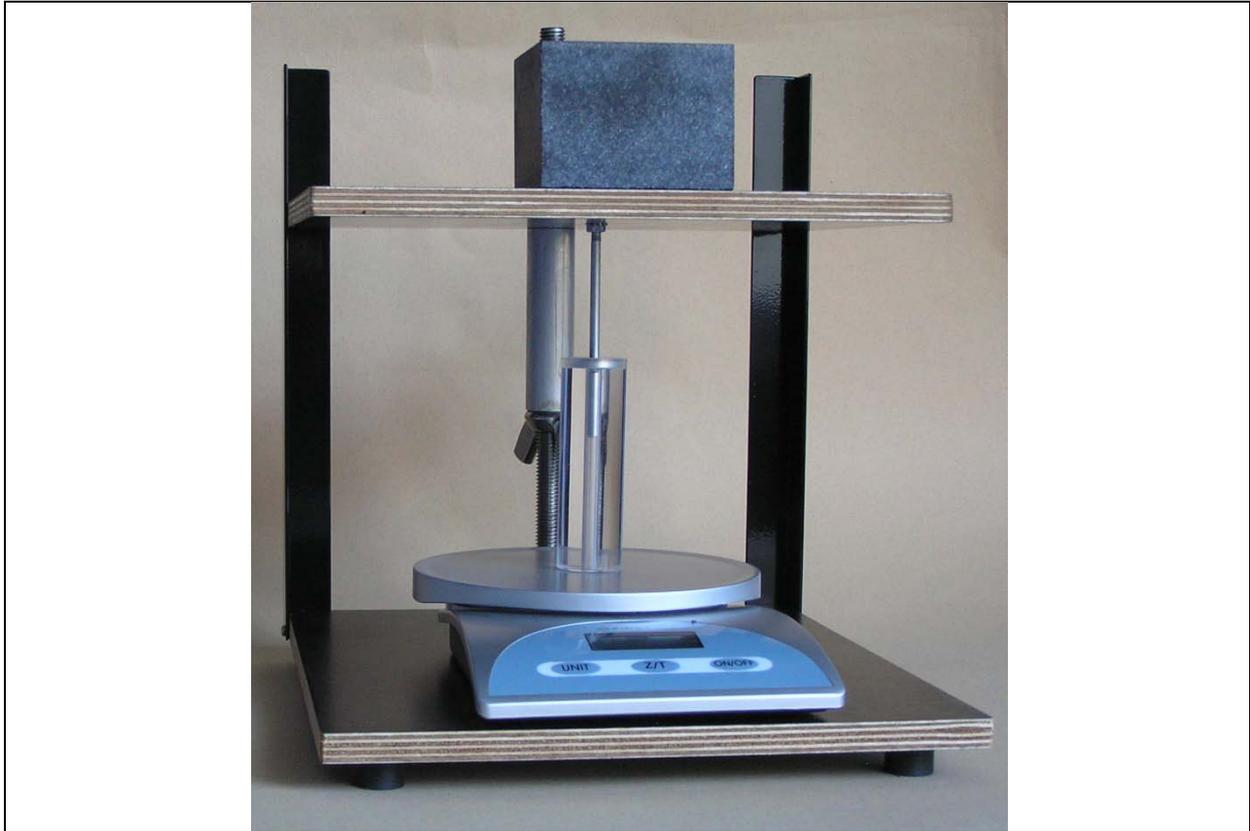


図4 実験装置を組み上げた写真。2つの磁石間に働く力を測定する方法を示している。

問

- ここでは、中空円柱を手で水平に持ち、木の棒を用いて実験しなさい。図2のように、 z 軸が水平になっていると仮定して、2つの磁石がつり合う全ての位置関係を、実験を行うことによって決定し、解答用紙に図示しなさい。そして、安定 (S) または不安定 (U) を示すラベルに丸を付けなさい。安定点では、磁石に少し力を加えても元に戻る。 (2.5点)
- まず、中空円柱に磁石を入れた状態で、ゼロ点補正しなさい。次に、図4の装置を用いて、 z 座標の関数として2つの磁石の間に働く力を決定しなさい。 z 軸の正の向きを、透明な中空円柱の中に向かう向きとする（正の方向へ向かうとき、力も正とする。）。

力の対称性を見つけたら、解答用紙に力に関する式で書きなさい。磁気モーメントの配置が平行同じ向きのときは $F_{\uparrow\uparrow}(z)$ で示し、平行逆向きときは $F_{\uparrow\downarrow}(z)$ で示せ。

重要：棒磁石の質量は無視（働く重力も無視）せよ。そして、磁石間に働く力の対称性を利用して、グラフの異なる領域に同じ測定値を用いなさい。

測定値は、全て解答用紙に書きなさい。その際、実験値を記した表には、それぞれ、どのような磁石の向きと位置で実験したのかも合わせて図示しなさい。（例が挙げられている。） (3.0 点)

3. 問 2 の実験結果から、 $z > 0$ での $F_{\uparrow\uparrow}(z)$ の z 依存性をミリ単位のグラフに描き入れなさい。

曲線 $F_{\uparrow\uparrow}(z)$ と $F_{\uparrow\downarrow}(z)$ の形を (z 軸の正負の領域にわたって) 図示しなさい。それぞれのグラフについて、安定なつり合いの位置を点で書き入れ、問 1 と同様にその磁石の向きと位置を図示しなさい。 (4.0 点)

4. z 軸を鉛直方向にとる。棒磁石の質量を考えると、本質的に新たな安定なつり合いの位置が現れるだろうか。もし現れる場合は、新たに現れるすべての場合を、問 1 と同様に、図で示しなさい。 (0.5 点)

Exp. problem 1 – Answer sheets

Country code	Student code

Task 1		Points
(a)		

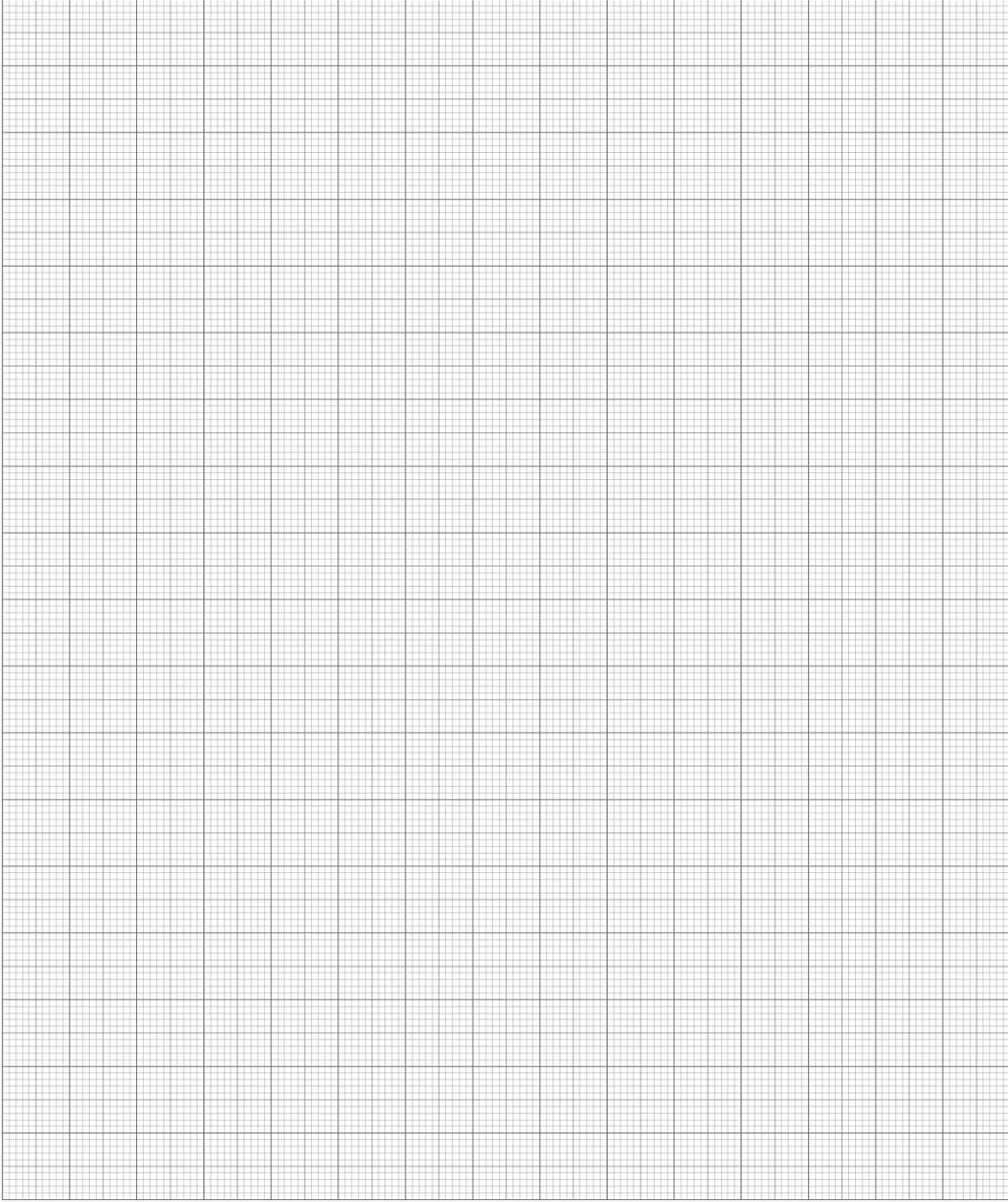
A Answer Sheets – Experimental Problem 1 – Elasticity

2/7

Country code	Student code

Task 1		Points
(a)		

Country code	Student code

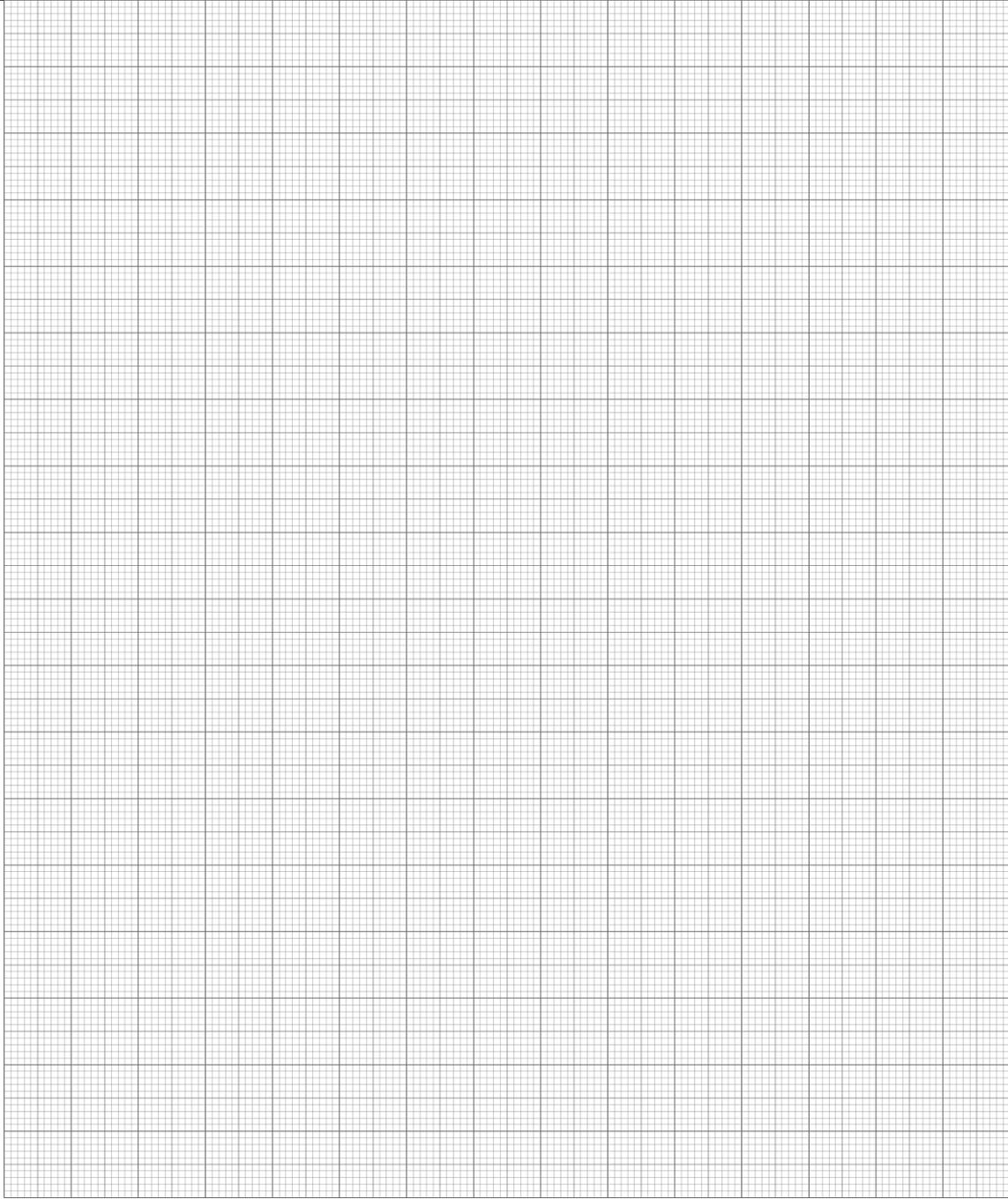
Task 1	Points
(b)	

A Answer Sheets - Experimental Problem 1 - Elasticity

4 / 7

Country code	Student code

Task 1	Points
(b)	



A Answer Sheets – Experimental Problem 1 – Elasticity

5/7

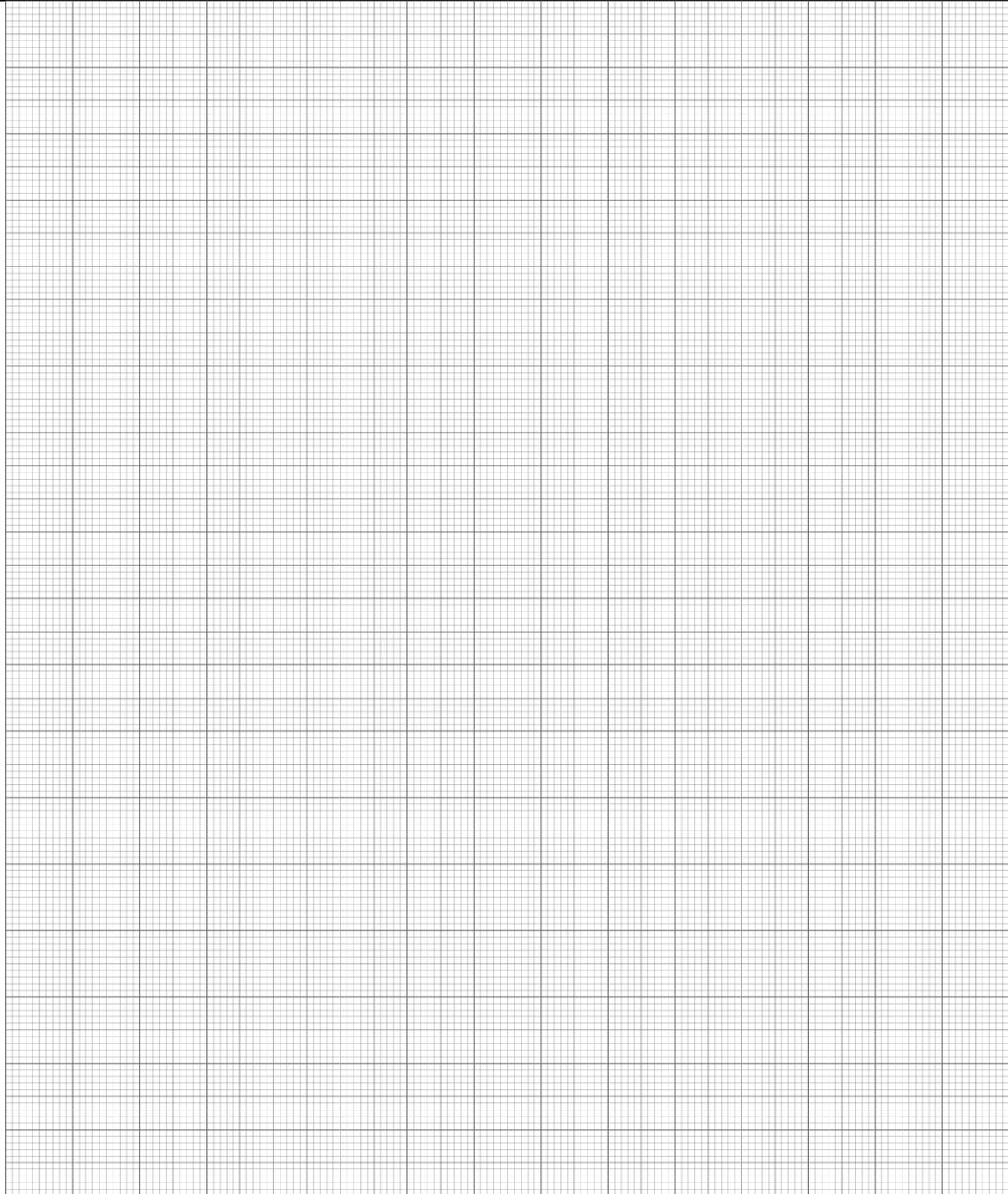
Country code	Student code

Task 1		Points
(b)	$\kappa =$	
	$\kappa =$	
	$\frac{R_0}{R_c} \leq$	$\frac{R_0}{R_c} \leq$
Task 2		Points

Country code	Student code

Task 2

Points



A Answer Sheets – Experimental Problem 1 – Elasticity

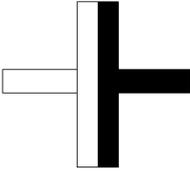
7/7

Country code	Student code

Task 2		Points
	$K =$	
Task 3		Points
	Young modulus of the blue foil:	
	Young modulus of the colorless foil:	
Total:		

Answer Sheets - Exp. Problem 2

Country code	Student code

Task 1	Points
	<p>S U</p> 
	<p>S U</p>

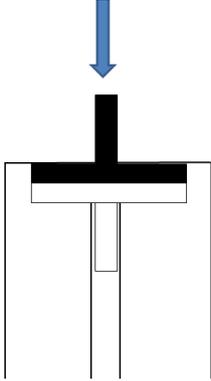
A Answer Sheets – Experimental Problem 2 – Magnets

2 / 8

Country code	Student code

Task 1		Points
	S U	
	S U	
	S U	
	S U	
	S U	

Country code	Student code

Task 2	Points
Write all symmetries that you find for the force between magnets:	
Configuration:  Measurements:	

A Answer Sheets – Experimental Problem 2 – Magnets

4 / 8

Country code	Student code

Task 2		Points

A Answer Sheets – Experimental Problem 2 – Magnets

5 / 8

Country code	Student code

Task 2		Points

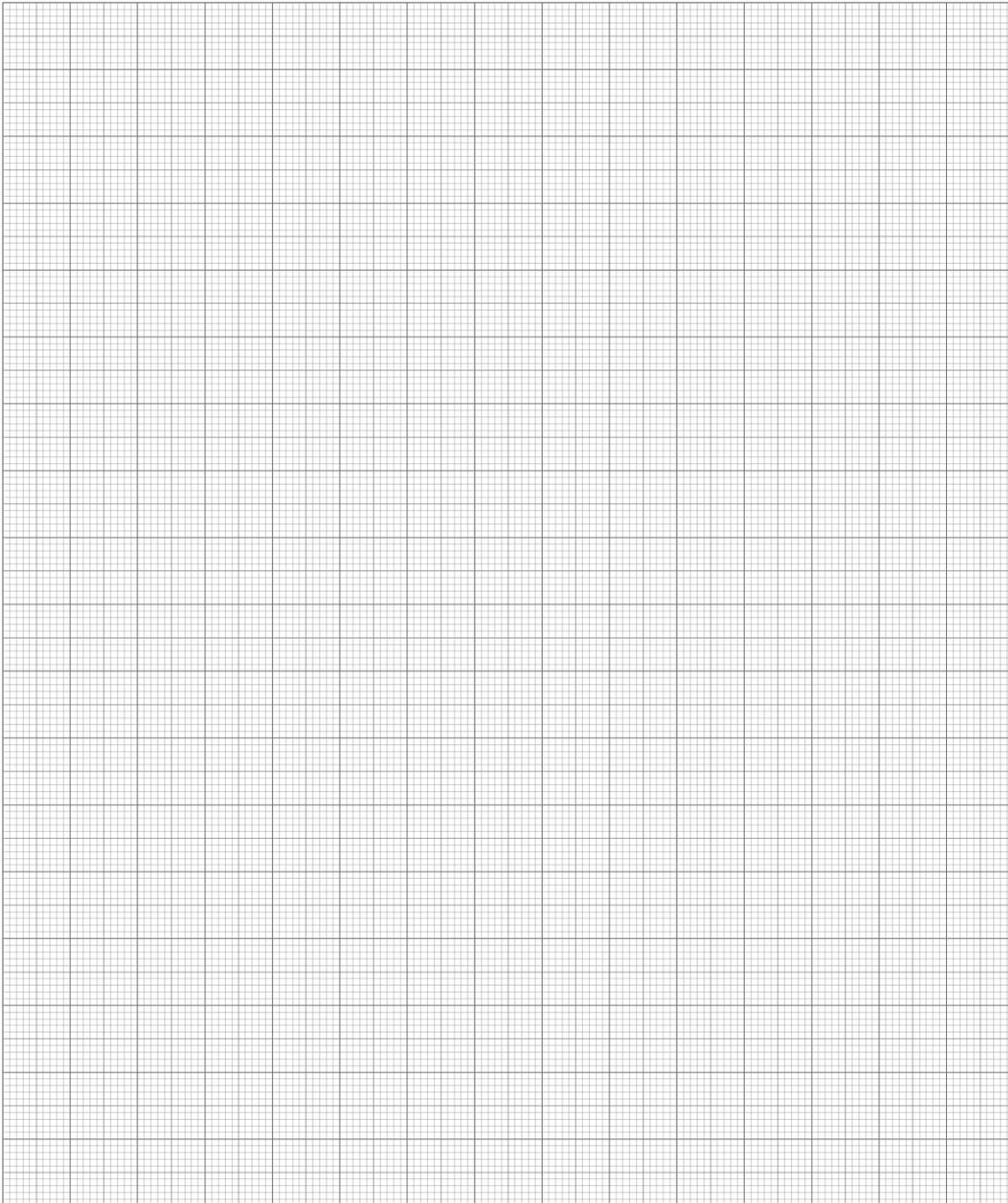
A Answer Sheets - Experimental Problem 2 - Magnets

6 / 8

Country code	Student code

Task 3

Points



A Answer Sheets – Experimental Problem 2 – Magnets

7 / 8

Country code	Student code

Task 3		Points
	Schematic (hand drawn) plot of $F_{\uparrow\uparrow}(z)$	
	Schematic (hand drawn) plot of $F_{\uparrow\downarrow}(z)$	

A Answer Sheets – Experimental Problem 2 – Magnets

8 / 8

Country code	Student code

Task 4		Points
Total:		