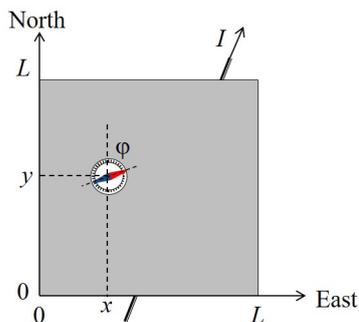


E1: Fio escondido**Configuração e tarefas experimentais**

Um fio de cobre muito longo está disposto horizontalmente a uma profundidade desconhecida h sob uma superfície quadrada horizontal de comprimento lateral $L = 100.0$ mm. Os lados do quadrado têm a orientação Oeste-Leste (eixo x) e Sul-Norte (eixo y), conforme mostrado na figura. A origem do sistema de coordenadas coincide com o canto sudoeste do quadrado.



O fio está ligado a uma fonte DC ajustável (não mostrada na figura), que pode fornecer uma corrente I no intervalo de -5 A a 5 A. A troca do sinal da corrente corresponde a uma inversão da polaridade da fonte. Uma pequena bússola pode ser colocada na superfície quadrada, incluindo todo o seu perímetro, para detectar o campo magnético do fio através do ângulo de deflexão φ entre a agulha magnética e a direção Norte (y). Os valores φ positivos correspondem a uma deflexão para leste, como mostrado na figura, enquanto valores de φ negativos correspondem a uma deflexão para oeste. Pode assumir que:

- A agulha magnética é um dipolo magnético pontual, que pode rodar livremente em torno do eixo vertical, ou seja, a bússola é sensível apenas à componente horizontal do campo magnético.
- A altura da agulha acima da superfície é insignificante em comparação com a profundidade do fio abaixo da superfície, ou seja, a agulha está situada no plano xy .

Pense na sua experiência e execute as simulações necessárias de forma a poder realizar as seguintes tarefas:

- Determine a orientação do fio em relação ao sistema de coordenadas, escrevendo a sua equação na forma: $y = ax + b$, e estime as incertezas nos parâmetros a e b . Desenhe a posição do fio num gráfico e indique a direção correspondente a uma corrente positiva I .
- Determine a profundidade h do fio abaixo da superfície e a componente horizontal B_E do campo magnético da Terra. Nesta tarefa, não é necessário calcular as incertezas experimentais explicitamente; no entanto, os resultados finais devem ser representados com um número apropriado de algarismos significativos.

A permeabilidade magnética do espaço livre é

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T m/A.}$$

Descrição do programa de simulação

O programa simula a medição do ângulo de deflexão φ após fornecer o valor da corrente I e colocar a bússola nas coordenadas x e y da superfície.

Um resultado típico de uma simulação com o programa tem o seguinte formato:

```
Enter I (A) between -5.0 and 5.0: 3.4
Enter X (mm) between 0 and 100: 55
Enter Y (mm) between 0 and 100: 31
PHI = -33 degrees
-----
Enter I (A) between -5.0 and 5.0: _
```

Primeiro, introduza o valor da corrente I em A (um número entre -5.0 e 5.0), em seguida as coordenadas x e y em mm (estes números devem estar entre 0 e 100). Cada entrada é confirmada com a tecla **Enter**. O programa irá escrever o valor de φ (PHI) em graus (arredondado a 1°) e depois irá voltar ao início para nova simulação.

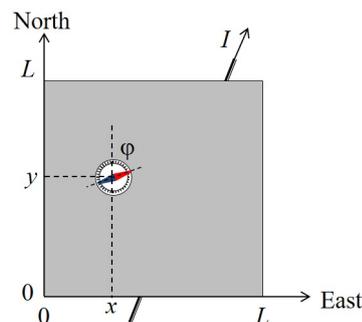
O valor da corrente I introduzida será arredondada a 0.1 A e o valor das coordenadas x e y serão arredondadas a 1 mm, antes de serem usadas na simulação (assim não adianta inserir números mais precisos do que estes).

Cada vez que muda a posição da bússola, a posição real usada na simulação difere das coordenadas que introduziu com um erro de cerca de 0.5 mm (Esta é a simulação do limite de precisão de posicionamento de um objeto).

Sempre que precisar sair do programa, pressione **Ctrl+C**.

E1: Hidden wire**Experimental setup and tasks**

A very long copper wire runs horizontally at unknown depth h under a horizontal square surface of side length $L = 100.0$ mm. The sides of the square are oriented West-East (the x -axis) and South-North (the y -axis), as shown in the figure. The origin of the coordinate system coincides with the South-West corner of the square.



The wire is connected to an adjustable DC source (not shown in the figure), which can provide a current I in the range from -5 A to 5 A. The reversal of the sign of the current corresponds to a reversal of the polarity of

the source. A small compass can be placed on the square surface, (including its circumference) to sense the magnetic field of the wire through the deflection angle φ between the magnetic needle and the North (y) direction. Positive φ values correspond to an Eastward deflection, as shown in the figure, while negative φ correspond to a Westward deflection. You can assume that:

- The magnetic needle is a point-like magnetic dipole, which can rotate freely around the vertical axis, i.e. the compass is sensitive to the horizontal component of the magnetic field only.
- The height of the needle above the surface is negligible compared to the depth of the wire beneath the surface, i.e. the needle is situated in the xy -plane.

Design your experiment and make the necessary simulations to perform the following tasks:

- Determine the orientation of the wire with respect to the coordinate system by specifying its equation in the form: $y = ax + b$, and estimate the uncertainties of the parameters a and b . Draw the wire position on a graph and indicate the direction corresponding to a positive current I .
- Determine the depth h of the wire below the surface and the horizontal component B_E of the Earth's magnetic field. In this task you are not required to calculate the experimental uncertainties explicitly, however, your final results must be represented with an appropriate number of significant digits.

The magnetic permeability of free space is

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T m/A.}$$

Description of the simulation software

The command line program simulates the measurement of the deflection angle φ after providing the current I and placing the compass at the coordinates x and y on the surface.

A typical output of a single simulation cycle of the program looks like:

```
Enter I (A) between -5.0 and 5.0: 3.4
Enter X (mm) between 0 and 100: 55
Enter Y (mm) between 0 and 100: 31
PHI = -33 degrees
-----
Enter I (A) between -5.0 and 5.0: _
```

First, you enter the current I in A (the number between -5.0 and 5.0), then coordinates x and y in mm (the numbers between 0 and 100). Each input is confirmed with the **Enter** key. The program will output the value of φ (PHI) in degrees (rounded to 1°) and return to the initial prompt.

The current input I will be rounded to $0.1 A$, the coordinate inputs x, y will be rounded to $1 mm$ before being used in simulation. (There is no point in trying to input more precise numbers).

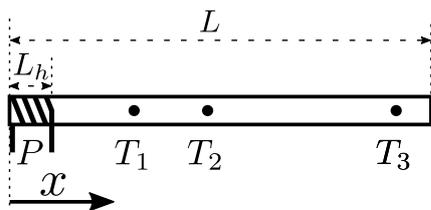
Every time you change the position of a compass, its real position used in simulation differs from the input coordinates with an error about $0.5 mm$. (It is a simulation of a limited precision when you place an object).

Any time you need to quit the program, press **Ctrl+C**.

E2: Cilindro Quentinho

Introdução

Uma barra metálica uniforme de comprimento $L = 30$ cm e de raio $r = 1$ cm é constituída por um metal desconhecido e é mantida à temperatura ambiente $T_0 = 26.9\text{C} = 300\text{K}$. A massa da barra é $m = 460$ g. A sua tarefa é determinar as propriedades térmicas deste metal desconhecido. A barra metálica pode ser aquecida numa das pontas e a medição de temperatura pode ser realizada em vários locais que escolha ao longo da barra. O dispositivo de aquecimento da barra encontra-se entre as posições $x = 0$ e $x = L_h = 3$ cm (ver figura). Este aquecedor pode ser programado de forma a fornecer à barra uma potência fixa (em watts) durante uma duração específica (em segundos). As medições de temperatura são feitas especificado até cinco locais para os sensores ao longo da barra, assim como a frequência de medição, o tempo inicial e o tempo final das medidas. A simulação irá mostrar a leitura de temperaturas em "tempo real acelerado" (a simulação corre 10 vezes mais rápida que o tempo real).



Pode assumir que a totalidade da potência de aquecimento gerada pelo aquecedor é transmitida à barra e que a barra perde calor para o ambiente sob a forma de condução térmica para o ar e sob a forma de radiação de corpo negro. A transferência de calor para o ar via condução térmica depende linearmente na temperatura da barra e pode ser descrita por um coeficiente α de tal forma que o calor transferido por unidade de área e por unidade de tempo é $\alpha(T - T_0)$. O ar está bem ventilado de tal forma que α pode ser considerado constante ao longo da barra e independente da temperatura da superfície da barra. A transferência de calor por radiação de corpo negro é descrita pela lei de Stefan-Boltzmann modificada pela emissividade β da barra, de tal forma que o calor transferido por unidade de área e por unidade de tempo é $\beta\sigma(T^4 - T_0^4)$ onde $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{W}/(\text{m}^2 \text{K}^4)$. Do mesmo modo que α , a emissividade é considerada constante. A barra é também caracterizada pela sua condutividade térmica k (detal forma que a densidade de fluxo de calor na direção x é $-kdT/dx$) e pelo seu calor específico c .

Tarefa

A tarefa é determinar o calor específico do material desconhecido, c (unidades $\text{J}/(\text{Kkg})$), a condutividade térmica, k (unidades $\text{W}/(\text{mK})$), e os coeficientes α (unidades $\text{W}/(\text{m}^2 \text{K})$), e β (adimensional). Deverá encontrar valores a menos de 10% do valor real. Há várias fontes de erro, por exemplo, flutuações Gaussianas na localização

dos sensores e na medição das temperaturas. A magnitude dos erros podem ser obtidas observando as flutuações dos valores dados pelo programa.

Como em todas as experiências, deverá fornecer tabelas de dados claramente identificados, gráficos com unidades e eixos corretamente identificados e suficientes derivações matemáticas de forma a ser claro que medições foram realizadas, e como os resultados estão a ser derivados.

Interface do Programa

A simulação, chamada **rod**, permite realizar várias experiências na barra. O programa irá pedir um conjunto de informação relacionada com as condições em que a experiência é realizada. Para cada pedido o(s) valor(s) correspondente(s) deve(m) ser introduzido(s), seguido(s) de um **enter**. Os pedidos de informação do programa são os seguintes:

1. A potência do aquecedor: Enter P (W), between 0 and 300;
2. O intervalo de tempo desde o início da experiência no qual o aquecedor está ligado (após este tempo o aquecedor será desligado): Enter heating duration (s), between 0 and 3600s;
3. Tempos inicial e final (depois do início da experiência) para as medições de temperatura na barra: Enter the starting and finishing time for the measurements (s), separated by a space. Must be between 0 and 3600s;
4. Intervalo de tempo entre duas medições consecutivas realizadas pelos sensores de temperatura: Enter dt (s), between 5 and 3600s and a multiple of 5s;
5. Localização dos sensores de temperatura ao longo da barra. As coordenadas são especificadas em relação ao final do aquecedor: Enter up to 5 locations for the sensors (in cm), between $L=0$ and $L=30\text{cm}$, separated by spaces:
Note que se não colocar nenhum número as medidas não serão efetuadas.
6. Nome do ficheiro de output para as leituras de temperatura. Note também que todas as leituras realizadas serão mostradas no ecrã: Enter the output file name:
Use somente letras e números no nome do ficheiro (não use acentos). No caso de ter caracteres não permitidos o ficheiro não será gravado. O ficheiro terá uma extensão .txt e estará na mesma diretoria do programa.

Se uma informação inválida for introduzida, irá aparecer uma mensagem de erro e terá uma nova oportunidade para introduzir a informação outra vez.

O programa depois irá pedir-lhe para carregar no **enter** para dar início à experiência, ou para escrever restart e carregar no **enter** para re-introduzir todos os dados experimentais. Ao continuar a simulação, o programa irá mostrar um sumário da montagem experimental, e irá começar a imprimir o tempo desde que o aquecedor é ligado ($t(s)$), e todas as medições realizadas pelos sensores na mesma ordem que as suas localiza-

ções foram introduzidas no programa (Ti(C), onde i corresponde ao sensor número i).

Após o final da simulação, uma nova experiência pode ser iniciada escrevendo `restart` e carregando no **enter**.