



Olimpíada Brasileira Online de Física Experimental

2ª Fase - 15 e 16 de Novembro de 2025

Nome: _____

Série: _____

Nível MD
Ensino Médio
1ª a 3ª série

Instruções de Prova

- I. Esta prova destina-se exclusivamente aos alunos da **1ª a 3ª série do ensino médio**. Ela contém 3 experimentos somando 100 pontos.
- II. A duração máxima desta prova é de **quatro horas**. Além do tempo de prova, serão concedidos **5 minutos** correspondentes ao preenchimento online do gabarito.
- III. É permitido o uso de calculadoras.
- IV. A prova deve ser feita individualmente e não é permitido falar sobre a solução das questões durante o período de aplicação da prova **dias 15 e 16 de Novembro de 2025**.
- V. Se necessário, e a menos que indicado ao contrário, use: aceleração gravitacional na superfície da terra $g = 10 \text{ m/s}^2$; calor específico da água líquida $c_a = 1 \text{ cal/(g}^\circ\text{C)}$; calor latente de fusão do gelo $L = 80 \text{ cal/g}$; $1 \text{ cal} = 4,2 \text{ J}$; densidade da água líquida $\rho = 1,0 \text{ g/cm}^3$.

Apoio:





Curiosidades:

Marcelo Damy de Souza Santos (Campinas, 14 de julho de 1914 – São Paulo, 29 de novembro de 2009) foi um dos mais importantes físicos experimentais do Brasil, pioneiro no campo da física nuclear e de reatores. Professor e diretor do Instituto de Física da USP, foi membro da Academia Brasileira de Ciências e peça-chave na criação do Instituto de Energia Atômica (atual IPEN). Liderou a equipe responsável pelo projeto e construção do primeiro reator nuclear da América Latina, o IEA-R1, inaugurado em 1957. Suas pesquisas sobre raios cósmicos e física de nêutrons são de grande relevância. Foi agraciado com a Grã-Cruz da Ordem Nacional do Mérito Científico, deixando um legado indelével para a ciência e tecnologia nuclear no país.



1 Cinemática de uma captura

Introdução

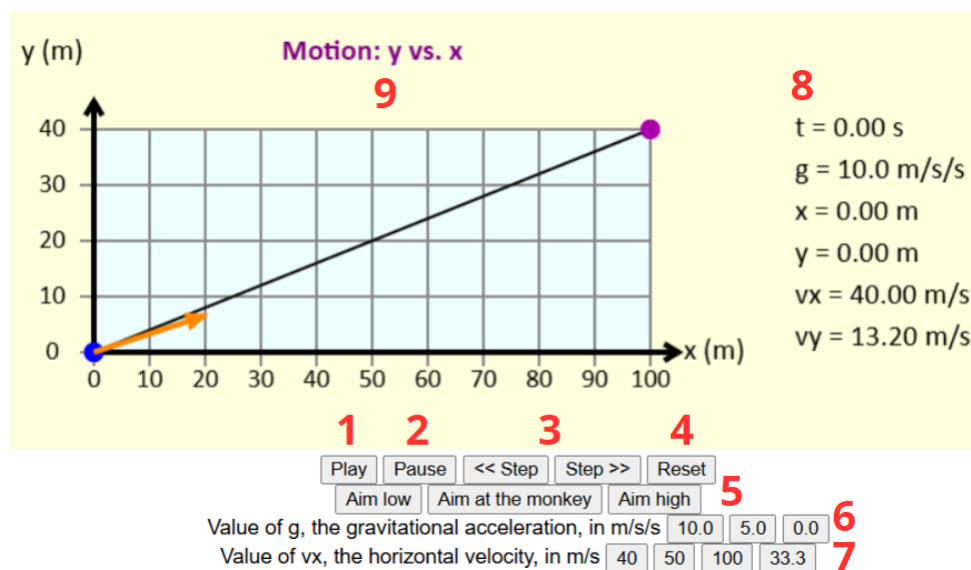
Um pesquisador deseja atingir um animal com um dardo tranquilizante para poder estudá-lo e, depois, devolvê-lo à natureza. Porém, o animal, que estava pendurado em uma árvore, cai no mesmo instante em que o dardo é atirado, proporcionando uma dificuldade maior para acertá-lo.

Durante todo o experimento, considere o animal como um ponto material e desconsidere a influência da resistência do ar. Em outras palavras, o movimento do dardo será um lançamento oblíquo sob a influência da gravidade da Terra, enquanto o movimento do animal será uma queda livre.

Durante este experimento, você pode desprezar as incertezas em seus cálculos.

Apresentando o simulador

Para realizar o experimento, utilizaremos um simulador criado por Andrew Duffy, que você pode acessar clicando [aqui](#). Assim que você acessar o simulador, se deparará com o seguinte cenário:



Nessa interface, podemos encontrar os seguintes elementos:

1. Ao apertar o botão "Play", a simulação começará. Se você pausar a simulação com o botão "Pause", aperte "Play" para que a simulação continue de onde parou.



Olimpíada Brasileira Online de Física Experimental



2. Ao apertar o botão "Pause", a simulação irá pausar, permitindo que você tire medidas de maneira mais controlada.
3. Os botões «<Step" e "Step»" servem para analisar a simulação em intervalos discretos de tempo. Ao apertar o primeiro, você retrocede a simulação em 0,01s. Ao apertar o último, você avança a simulação em 0,01s. Essa é uma ótima maneira de controlar suas medidas.
4. Ao apertar o botão "Reset", a simulação irá voltar para o tempo em que $t = 0$ s. Atenção: este botão NÃO reinicia as configurações do simulador, como a velocidade inicial e a gravidade local.
5. Aqui, você consegue controlar a maneira como o projétil será lançado. Ao apertar o botão "Aim low", o projétil será lançado em um ângulo menor em relação à horizontal. Ao apertar o botão "Aim high", o projétil será lançado em um ângulo maior com a horizontal. Ao apertar "Aim at the monkey", o projétil irá mirar no animal a cada instante da trajetória. Atenção: você pode apenas ativar uma dessas configurações por vez. Ao ativar uma, você automaticamente já desativa a anterior e a simulação recomeça.
6. Aqui, você pode controlar o valor da gravidade local dentre 3 valores: 10m/s^2 , 5m/s^2 e 0m/s^2 (sem gravidade). Atenção: você pode apenas ativar uma dessas configurações por vez. Ao ativar uma, você automaticamente já desativa a anterior e a simulação recomeça.
7. Aqui, você pode controlar a velocidade horizontal do projétil dentre 4 valores: 40m/s , 50m/s , 100m/s e $33,3\text{m/s}$. Perceba que essa velocidade é constante ao longo da trajetória. Atenção: você pode apenas ativar uma dessas configurações por vez. Ao ativar uma, você automaticamente já desativa a anterior e a simulação recomeça.
8. Nesta área, você pode visualizar alguns parâmetros da simulação que mudam ao longo da trajetória. Perceba que a gravidade g e a velocidade horizontal v_x são constantes ao longo da simulação, apesar de poderem ser variadas nas configurações originais. As coordenadas do projétil x (coordenada horizontal) e y (coordenada vertical) também são exibidas para qualquer instante de tempo t (que também é exibido). Por fim, a velocidade vertical do projétil ao longo da trajetória também é mostrada.
9. Nesta área, encontra-se um gráfico do movimento, que revela como as posições do projétil e do animal mudam com o passar do tempo. É preferível que você faça a maioria das medidas com respeito ao projétil por meio dos dados exibidos na direita, ao invés de usar o gráfico. Porém, o gráfico pode ser útil para tomar medidas acerca do animal.

Os textos escritos abaixo do simulador não são relevantes para realizar o experimento. Uma observação é importante é que o simulador sempre termina quando o projétil chega em $x = 100\text{m}$

Parte A: Lançamento Oblíquo

Agora, iremos analisar o lançamento oblíquo realizado pelo projétil. Nesta parte, configure a gravidade local para ser $g = 10\text{m/s}^2$, a velocidade horizontal para ser $v_x = 40\text{m/s}$ e a direção como "Aim high".

Item A.1

(4 pontos)

Faça uma tabela da velocidade vertical v_y do projétil para diferentes instantes de tempo. Confirme por uma regressão entre os dados que a dependência entre os termos é linear e que é possível encontrar a gravidade local por meio dessa regressão.



Olimpíada Brasileira Online de Física Experimental



v_y (m/s)	t (s)

Tabela: v_y x t

Item A.2

(7 pontos)

Faça uma tabela da coordenada vertical y do projétil para diferentes valores da coordenada horizontal x .

y (m)	x (m)

Tabela: y x x

Item A.3

(7 pontos)

Linearize os dados da tabela anterior e registre tais dados linearizados em uma nova tabela. Por meio dessa linearização, confirme que a trajetória do projétil é uma parábola.

$f(y)$	$g(x)$

Tabela: $f(y)$ x $g(x)$

Parte B: Curva de perseguição

Nesta parte, vamos focar na configuração "Aim at the monkey". Use uma velocidade horizontal de 33,3m/s e a gravidade local como 10m/s² durante esta parte;

Item B.1

(2 pontos)

Encontre, por meios teóricos, uma expressão para a distância entre os dois corpos como função do tempo e de parâmetros relevantes da simulação

Item B.2

(12 pontos)

Faça uma tabela registrando os seguintes valores para diferentes instantes: as posições x e y do projétil, o tempo, uma estimativa da posição y do animal e, por fim, um cálculo da distância entre os dois corpos r .

Item B.3

(3 pontos)

Faça uma regressão entre os seus dados e descubra os coeficientes da reta entre r e t . O seu resultado é compatível com o esperado?



y' (m)	y (m)	x (m)	r (m)	t (s)

Tabela: $y' \times y \times x \times r \times t$

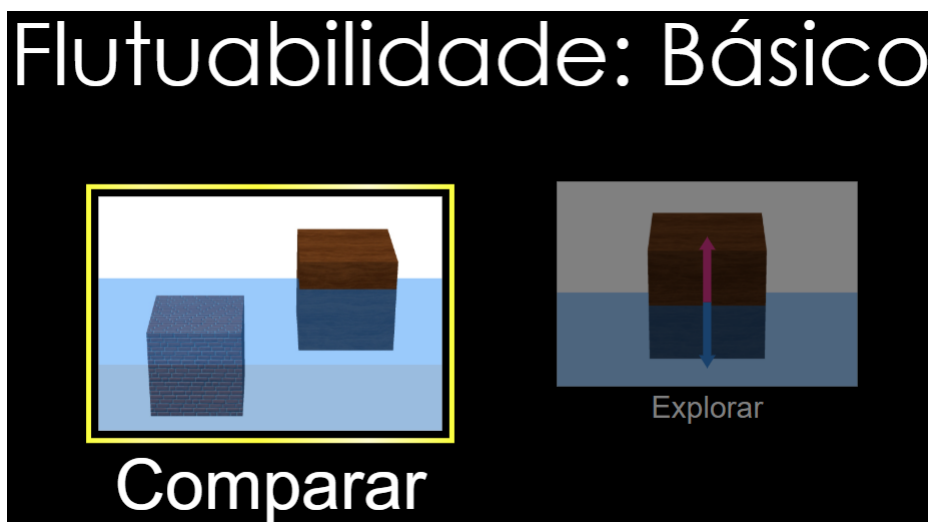
2 Hidrostática e balanças!

Introdução

Neste experimento, vamos estudar a física de objetos afundando em líquidos, com base em conceitos básicos de hidrostática. Além disso, vamos analisar como a inserção de uma balança modifica o experimento. Durante este experimento, você pode desprezar incertezas em seus cálculos.

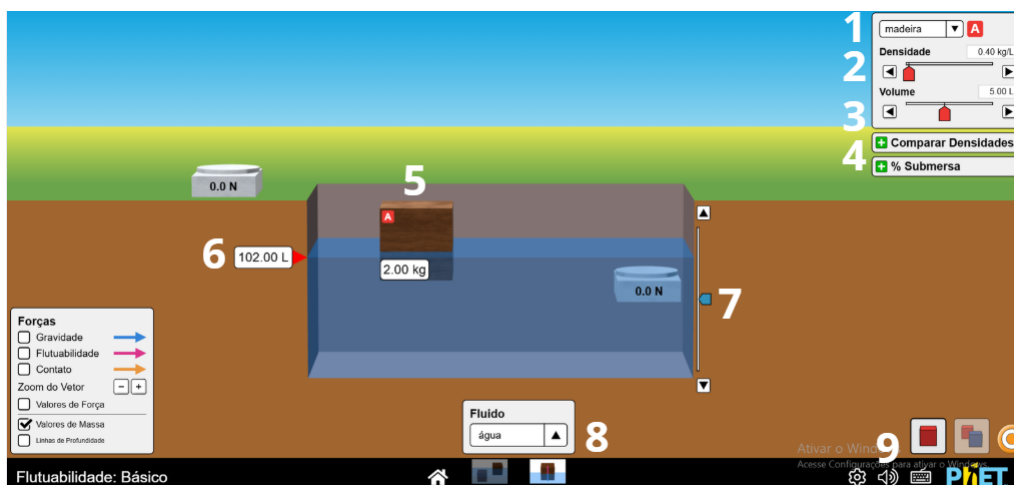
Apresentando o simulador

Para realizar o experimento, utilizaremos um simulador do PHET, que você pode acessar clicando [aqui](#). Assim que você acessar o simulador, se deparará com o seguinte cenário:



Atenção: Clique em "Explorar" e NÃO em "Comparar". Após clicar em explorar, a seguinte interface irá aparecer: Nessa interface, podemos encontrar os seguintes elementos:

1. Aqui, você pode alterar o material do cubo. Esse botão é irrelevante para o experimento, já que você pode alterar as propriedades de outras maneiras melhores.
2. Aqui, você pode alterar a densidade do cubo como preferir.
3. Aqui, você pode alterar o volume do cubo como preferir.
4. Ao apertar cada um desses botões "+", novas informações sobre a simulação serão mostradas a você. Elas são a densidade do líquido utilizado e a porcentagem de volume do cubo que está submersa. É recomendável que você deixe essas abas abertas durante todo o experimento.
5. Este é o cubo utilizado na simulação. Você pode movê-lo como quiser ao longo do espaço da simulação, segurando-o com o cursor do computador. Perceba também que a massa do cubo é informada dentro de um espaço branco localizado no canto inferior esquerdo.



6. Este espaço em branco mostra o volume da água presente somado com qualquer volume submerso.
7. Neste espaço, você pode alterar a altura da balança, que está presa à parede. Você pode fazer isso movendo a seta azul com o cursor ou apertando nos botões em formato de seta.
8. Aqui, você pode escolher o líquido que será utilizado na simulação. É importante destacar que cada líquido possui densidades diferentes, porém possui o mesmo volume.
9. Ao apertar este botão abaixo do número 9, você pode desativar o som da simulação, se assim preferir.

O simulador apresenta diversos outros botões e opções, mas esses outros recursos não são relevantes ao experimento.

Parte A: Relação entre volumes

Nesta parte, vamos analisar a física acerca da flutuabilidade do bloco e outros fatores relevantes. Por enquanto, use "mercúrio" como seu líquido escolhido.

Item A.1

(1 ponto)

Determine o volume da balança e o volume da água por meio de um detalhado procedimento experimental.

Item A.2

(5 pontos)

A porcentagem de volume submerso se relaciona diretamente com a densidade do cubo. Sendo assim, faça uma tabela com a porcentagem submersa para diferentes valores de densidade.

r (%)	ρ (kg/L)

Tabela: $r \times \rho$

Item A.3

(2 pontos)

Por meio de uma regressão entre os dados, determine o valor da densidade da água. Ele é compatível com o valor mostrado no simulador?



Olimpíada Brasileira Online de Física Experimental



Parte B: Uso da balança

Agora, vamos analisar o papel da balança na nossa simulação. Considere a balança como um paralelepípedo. Durante esta parte, você pode variar os valores da densidade e do volume do cubo conforme achar melhor. Porém, use água como seu líquido!

Item B.1

(2 pontos)

Estime a gravidade local, a área da balança e a altura da balança por meio de um detalhado procedimento experimental.

A partir de agora, sempre deixe o cubo diretamente acima da balança. Certifique-se de que eles realmente estejam em contato, pois isso será importante. Além disso, considere que o volume submerso se refere apenas ao volume do cubo e não ao da balança.

Item B.2

(5 pontos)

Registre a força de contato medida pela balança (Normal) para diferentes valores de volume submerso em uma tabela. Lembre-se de manter o volume e a densidade do cubo constantes ao longo de suas medidas.

F (N)	V_S (L)

Tabela: $F \times V_S$

Item B.3

(8 pontos)

Faça um gráfico com os dados anteriores. Por meio do método gráfico ou uma regressão linear, determine os coeficientes da reta.

Item B.4

(2 pontos)

Nos últimos itens, nós verificamos que a relação entre as grandezas é linear nas condições mostradas. Agora, demonstre esse resultado teoricamente e encontre a força de contato em função dos parâmetros da simulação. O seu resultado é condizente com os coeficientes encontrados no item anterior?

Agora que sabemos a fórmula para tal força, podemos analisar uma outra dependência interessante. A partir de agora, mantenha a altura da balança constante e escolha uma altura de forma que, *para qualquer volume*, o cubo ainda se mantenha entre a água e o ar, sem estar completamente em um meio nem no outro.

Item B.5

(8 pontos)

Mantendo a densidade do cubo constante, registre medidas da força de contato para diferentes valores do volume cubo.

Item B.6

(8 pontos)

Com base na equação teórica encontrada no item B4, linearize seus dados da maneira que achar mais conveniente e registre seus novos dados linearizados em uma tabela.



F (N)	V (L)

Tabela: $F \times V$

$f(F)$	$g(V)$

Tabela: $f(F) \times g(V)$

Item B.7

(3 pontos)

Por meio de uma regressão linear ou pelo método gráfico, encontre os coeficientes da linearização feita. Mostre que eles são condizentes com o esperado pelo seu desenvolvimento teórico anterior.

3 Analisando difrações

Introdução

Neste experimento, vamos estudar a difração da luz em diferentes contextos. Para isso, vamos analisar fotos de um experimento de difração realizado presencialmente, sem o uso de simuladores.

Apresentando o experimento

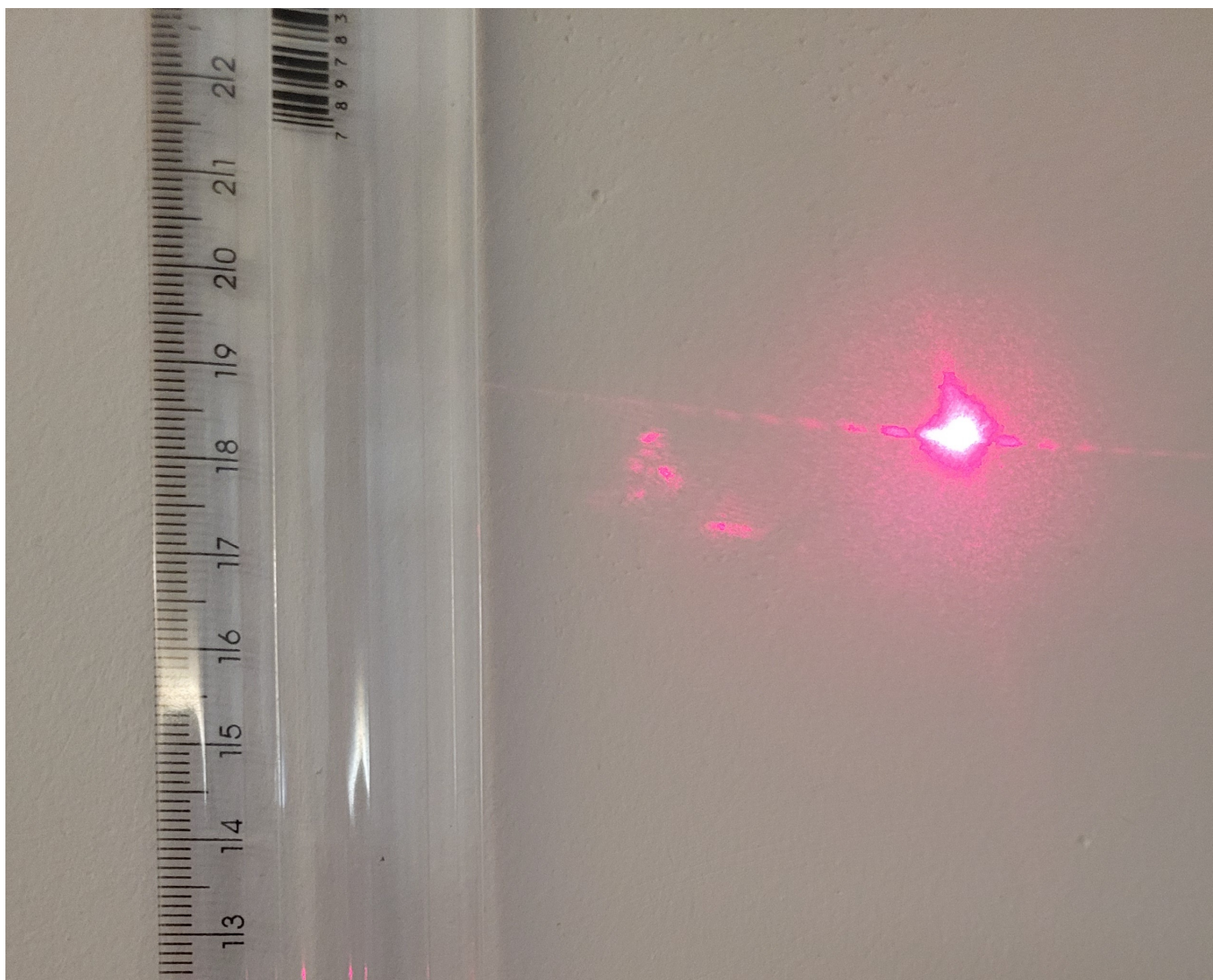
Como dito, não será necessário o uso de simuladores neste experimento, pois você apenas terá que analisar as fotos presentes. Em todas as fotos, desconsidere efeitos de paralaxe e possíveis imprecisões causadas pelo ângulo em que a foto foi tirada.

Em todas as fotos, uma régua aparece. Ela possui marcações principais em cm, mas também marcações menores para medir mm.

Em todos os experimentos, assuma que a distância da fonte até o anteparo é $D = 50\text{cm}$ e que o laser possui um comprimento de onda de $\lambda = 650\text{nm}$

Parte A: Um fio de cabelo

Nesta parte, vamos analisar a difração da luz em um fio de cabelo. Aqui está a foto que será analisada:



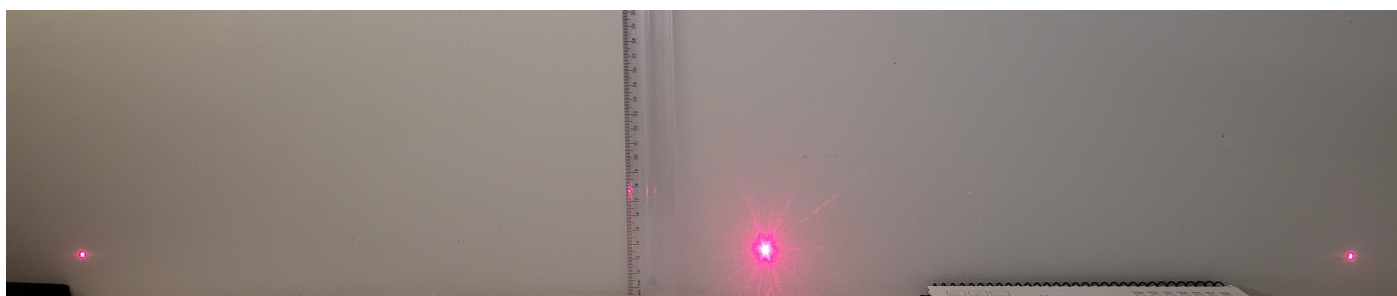
Item A.1

(10 pontos)

Estime o diâmetro do fio de cabelo por meio de medidas na imagem. Lembre-se de detalhar seu desenvolvimento teórico e seu procedimento experimental, além de buscar maneiras de tornar seu resultado mais preciso. Se achar necessário, faça uma tabela de dados relevantes.

Parte B: Redes de difração

Nesta parte, lidaremos com uma rede de difração. A foto relacionada com a rede de difração é esta:





Talvez seja útil saber que o comprimento do pedaço da régua que aparece nesta imagem é de aproximadamente 20,1cm, caso você não consiga vê-lo bem.

Item B.1

(10 pontos)

Estime o número de linhas por mm nessa rede de difração. Lembre-se de detalhar seu desenvolvimento teórico e seu procedimento experimental, além de buscar maneiras de tornar seu resultado mais preciso. Se achar necessário, faça uma tabela de dados relevantes.

4 Solução

4.1 Cinemática de uma captura

Parte A: Lançamento oblíquo

Solução A.1 Fazendo a tabela:

Tabela: v_y x t

$v_y(\text{m/s})$	$t \text{ (s)}$
20	0,0
19	0,1
18	0,2
17	0,3
16	0,4
15	0,5
14	0,6
13	0,7
12	0,8
11	0,9
10	1,0
9	1,1
8	1,2
7	1,3
6	1,4
5	1,5
4	1,6
3	1,7
2	1,8
1	1,9
0	2,0
-1	2,1
-2	2,2
-3	2,3
-4	2,4
-5	2,5

Fazendo um regressão entre os dados obtemos:



Olimpíada Brasileira Online de Física Experimental



$$\begin{aligned} Y &= A + BX \\ B &= -10 \\ A &= 20 \end{aligned}$$

Como esperado, é possível encontrar o valor da gravidade local $g = 10\text{m/s}^2$.

Solução A.2

Fazendo a tabela:

Tabela: y x x

$y(\text{m})$	$x \text{ (m)}$
0,00	0
1,95	4
3,80	8
5,55	12
7,20	16
8,75	20
10,20	24
11,55	28
12,80	32
13,95	36
15,00	40
15,95	44
16,80	48
17,55	52
18,20	56
18,75	60
19,20	64
19,55	68
19,80	72
19,95	76
20,00	80
19,95	84
19,80	88
19,55	92
19,20	96
18,75	100

Solução A.3

A equação de uma parábola é da forma:

$$y = ax^2 + bx + c$$



Olimpíada Brasileira Online de Física Experimental



Como $y = 0$ em $x = 0$, o termo c é nulo neste caso. Se dividirmos ambos os lados por x , obtemos:

$$\frac{y}{x} = ax + b$$

Logo, y/x varia linearmente com x . Essa será a linearização que usaremos, porém saiba que existem outras maneiras.

Fazendo uma tabela com os novos dados linearizados, obtemos:

Tabela: $y/x \times x$

y/x	x (m)
0,4875	4
0,4750	8
0,4625	12
0,4500	16
0,4375	20
0,4250	24
0,4125	28
0,4000	32
0,3875	36
0,3750	40
0,3625	44
0,3500	48
0,3375	52
0,3250	56
0,3125	60
0,3000	64
0,2875	68
0,2750	72
0,2625	76
0,2500	80
0,2375	84
0,2250	88
0,2125	92
0,2000	96
0,1875	100

Fazendo um regressão entre os dados obtemos:

$$\begin{aligned} Y &= A + BX \\ B &= -3,13 \cdot 10^{-3} \\ A &= 0,5 \end{aligned}$$

Além disso, obtemos que os dados possuem uma ótima correlação linear, o que confirma que essa a trajetória realmente é parabólica.



Parte B: Curva de perseguição

Solução B.1

Em um referencial que também cai com a aceleração da g , o movimento que o projétil percorre é um MRU, enquanto o animal fica está parado. Logo, a separação entre os dois corpos(r) diminui linearmente com o tempo:

$$r = r_0 - vt$$

Solução B.2

As medidas foram feitas buscando variar y' a cada 5m. Assim, fica muito mais fácil estimar y' corretamente. Fazendo a tabela:

Tabela: y' x y x x x r x t

y'	y	x	r	t
40	0	0	107,7	0
35	8,3	33	72,12	0,99
30	8,87	46,67	57,36	1,40
25	8,10	57,67	45,58	1,73
20	6,73	66,33	36,19	1,99
15	4,69	75	27,04	2,25
10	2,65	81,67	19,75	2,45
5	0,09	88,67	12,35	2,66
0	-2,31	94,33	6,122	2,83

Solução B.3 Fazendo a regressão entre os dados, obtemos:

$$\begin{aligned} Y &= A + BX \\ B &= -35,9 \cdot 10^{-3} \\ A &= 108 \end{aligned}$$

Então, a velocidade relativa entre os corpos vale 35,9m/s. É previsto que a velocidade relativa é uma constante, que é a velocidade original do projétil. Podemos calcular a velocidade no começo do movimento:

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{13,33^2 + 33,33^2} \approx 35,9\text{m/s} \quad (1)$$

Ou seja, nosso resultado é coerente com o resultado com o esperado.



Marking Scheme

Parte A — 18.0 pts	Pts
A.1 - Por corretamente apresentar a tabela, destacando unidades e o que significa as quantias de cada eixo.	1.0
A.1 - Por corretamente tomar uma quantidade aceitável de medidas. Será dado pontuação cheia para tabelas com 10 medidas ou mais. Se o aluno fizer menos de 10 medidas, será descontado um 0,3 pontos por medida faltante.	3.0
A.2 - Por corretamente apresentar a tabela, destacando unidades e o que significa as quantias de cada eixo.	1.0
A.2 - Por corretamente tomar uma quantidade aceitável de medidas. Será dado pontuação cheia para tabelas com 10 medidas ou mais. Se o aluno fizer menos de 10 medidas, será descontado um 0,6 pontos por medida faltante.	6.0
A.3 - Corretamente encontrar uma maneira de se realizar a linearização.	1.5
A.3 - Por corretamente apresentar a tabela, destacando unidades e o que significa as quantias de cada eixo.	0.5
A.3 - Por corretamente apresentar os dados linearizados em uma tabela. Se o aluno fizer menos de 10 medidas, será descontado um 0,5 pontos por medida faltante.	5.0
Parte B — 17.0 pts	Pts
B.1 - Por corretamente encontrar que tal distância varia linearmente com o tempo.	1.0
B.1 - Por expressão correta.	1.0
B.2 - Por corretamente apresentar a tabela, destacando unidades e o que significa as quantias de cada coluna.	1.0
B.2 - Por descrever corretamente como estimou a posição do animal.	2.0
B.2 - Pontuação cheia será fornecida para quem fizer 5 medidas ou mais por quantidade. Será descontado 1,8 pontos para cada linha de medida faltante. Se o aluno não escreveu as medidas de algum dos colunas, pontos também serão descontados.	9.0
B.3 - Por obter corretamente os coeficientes da reta.	2.0
B.3 - Por mostrar que o resultado é condizente com o valor da velocidade inicial do projétil.	1.0
TOTAL	35.0

4.2 Hidrostática e balanças

Parte A: Relação entre volumes

Solução A.1 Basta levantar a balança acima do nível da água. Assim, o volume medido vai de 100,00L para 98,20L. Dessa forma, o volume da água vale 98,20L e o da balança $100,00 - 98,20 = 1,80\text{L}$.
OBSERVAÇÃO: O volume de todos os líquidos são os mesmos. Não há problema em fazer com mercúrio, que era para ser o líquido utilizado nestas primeiras partes. Durante todos os itens desta parte, o estudante podia fazer o experimento com mercúrio ou água, já que existia uma certa confusão no enunciado sobre qual líquido deveria ser usado.



Solução A.2

Fazendo a tabela:

Tabela: $r \times \rho$

$r(\%)$	$\rho(\text{kg/L})$
3,7	0,50
7,4	1,00
11,0	1,50
14,7	2,00
18,4	2,50
22,1	3,00
25,7	3,50
29,4	4,00
33,1	4,50
36,8	5,00
40,5	5,50
44,1	6,00
47,8	6,50
51,5	7,00
55,2	7,50
58,9	8,00
62,5	8,50
66,2	9,00
69,9	9,50
73,6	10,0

OBSERVAÇÃO: Será considerada a questão igualmente caso o estudante tenha usado água como seu líquido.

Solução A.3 Fazendo uma regressão entre os dados, obtemos:

$$\begin{aligned} Y &= A + BX \\ B &= 7,36 \\ A &= 7,19 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

O equilíbrio hidrostática nos fornece a equação:

$$\frac{V_s}{V} = \frac{1}{\rho_m} \rho$$

Onde V_s é o volume submerso e ρ_m é a densidade do mercúrio. Temos que:

$$\frac{1}{\rho_m} = \frac{1}{13,59} \approx 0,0736$$

Como esperado, esse valor é 100 vezes menor que B(já que fizemos medidas com respeito a porcentagens). Assim, o valor encontrado é compatível com o valor da simulação

OBSERVAÇÃO: Será considerada a questão igualmente caso o estudante tenha usado água como seu líquido.



Parte B: Uso da balança

Solução B.1 É possível estimar a gravidade analisando o peso medido na balança, quando a mesma está acima do nível da água. Fazendo isso, obtemos $g = 9,8\text{m/s}^2$.

Podemos estimar a área da balança analisando como ela se comparada com a área de uma face do cubo. Tais áreas são aproximadamente iguais quando o volume do cubo é de $V = 3,5\text{L}$. Assim, podemos estimar a área do cubo:

$$A \approx L^2 = V^{2/3} \approx 2,31(\text{dm})^2 = 2,31 \cdot 10^{-2}\text{m}^2$$

O volume da balança pode ser determinado levantando a mesma acima do nível do água. Analisando como a medição de volume muda, percebe-se que $V_B = 1,80\text{L}$. Com isso, podemos obter um valor aproximado para a altura da balança $h = V_B/A \approx 0,78\text{dm} = 7,8 \cdot 10^{-2}\text{m}$.

Solução B.2

Fazendo a tabela:

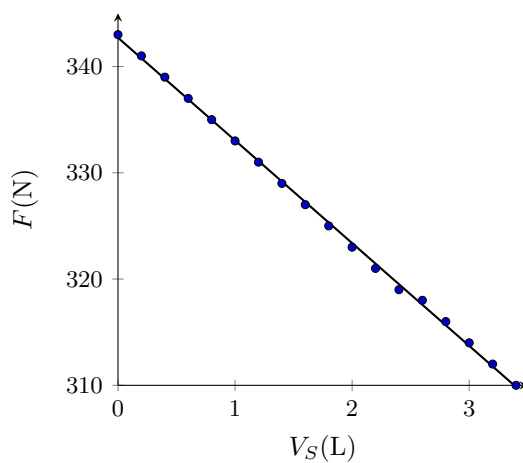
Tabela: $F \times V_s$

$F(\text{N})$	$V_s(\text{L})$
343	0,00
341	0,200
339	0,40
337	0,60
335	0,80
333	1,00
331	1,20
329	1,40
327	1,60
325	1,80
323	2,00
321	2,20
319	2,40
318	2,60
316	2,80
314	3,00
312	3,20
310	3,40

Solução B.3 Fazendo o gráfico e realizando a regressão:



Gráfico: $F \times V_S$



$$Y = A + BX$$
$$B = -9,8$$
$$A = 343 \cdot 10^{-3}$$

Solução B.4 Podemos escrever a equação de equilíbrio:

$$mg = \rho_a ghA + F$$

Onde $\rho_a ghA$ é o termo da força de empuxo. Perceba que h é a altura submersa, A é área de uma face do cubo e ρ_a é a densidade da água. Assim, podemos escrever:

$$F = g(m - \rho_a hV^{2/3})$$

Nós podemos facilmente encontrar h como o volume submerso dividido pela área de um face do cubo. Nos próximos itens, h será uma constante.

Solução B.5 Fazendo a tabela:

Tabela: $F \times V$

F (N)	V (L)
90.0	1,00
136.4	1,50
183.0	2,00
229.8	2,50
276.7	3,00
323.7	3,50
370.8	4,00
417.9	4,50
465.1	5,00
512.3	5,50
559.6	6,00
606.8	6,50
654.1	7,00
701.5	7,50
748.8	8,00



Solução B.6 A equação teórica em função do volume fica:

$$F = g(\rho V - \rho_a h V^{2/3})$$

Assim, ao dividir por V , a expressão fica:

$$\frac{F}{V} = g(\rho - \rho_a h V^{-1/3})$$

Assim, F/V é linear com $V^{-1/3}$. Fazendo uma tabela com os dados linearizados:

Tabela: Dados linearizados

F/V (N/L)	$V^{-1/3}$ (L ^{-1/3})
90,0	1,00
90,9	0,874
91,5	0,794
91,9	0,737
92,2	0,693
92,5	0,659
92,7	0,630
92,9	0,606
93,0	0,585
93,1	0,567
93,3	0,550
93,4	0,536
93,4	0,523
93,5	0,511
93,6	0,500
93,7	0,490
93,7	0,481
93,8	0,472
93,8	0,464

Solução B.7 Fazendo uma regressão entre os dados, obtêm-se:

$$\begin{aligned} Y &= A + BX \\ B &= -0,14 \\ A &= 13,6 \end{aligned}$$

OBSERVAÇÃO: A regressão foi feita considerando mais casas decimais na tabela linearizada. Fazer com menos dígitos implicaria em resultados menos preciso, apesar disso ser o mais comum de se fazer durante a prova.



Marking Scheme

Parte A — 10.0 pts	Pts
A.1 - Por detalhar o procedimento corretamente	0.5
A.1 - Por valores corretos	0.5
A.2 - Por corretamente apresentar a tabela, destacando unidades e o que significa as quantias de cada eixo.	1.0
A.2 - Por corretamente tomar uma quantidade aceitável de medidas. Será dado pontuação cheia para tabelas com 10 medidas ou mais. Se o aluno fizer menos de 10 medidas, será descontado um 0,4 pontos por medida faltante.	4.0
A.3 - Por corretamente obter os coeficientes da regressão	1.5
A.3 - Por encontrar o valor da densidade do líquido escolhido	0.5
Parte B — 30.0 pts	Pts
B.1 - Por detalhar o procedimento corretamente	0.5
B.1 - Por valores corretos	1.5
B.2 - Por corretamente apresentar a tabela, destacando unidades e o que significa as quantias de cada eixo.	1.0
B.2 - Por corretamente tomar uma quantidade aceitável de medidas. Será dado pontuação cheia para tabelas com 10 medidas ou mais. Se o aluno fizer menos de 10 medidas, será descontado um 0,4 pontos por medida faltante.	4.0
B.3 - Por corretamente apresentar o gráfico, destacando unidades e o que significa as quantias de cada eixo.	1.0
B.3 - Por corretamente fazer o gráfico. Será descontado 0,6 pontos para cada ponto apresentado no gráfico, com pontuação máxima de 6 pontos.	6.0
B.3 - Por encontrar os coeficientes da reta.	1.0
B.4 - Por corretamente encontrar a equação	1.5
B.4 - Por mostrar que é condizente com os coeficientes encontrados.	0.5
B.5 - Por corretamente apresentar a tabela, destacando unidades e o que significa as quantias de cada coluna.	1.0
B.5 - Por corretamente tomar uma quantidade aceitável de medidas. Será dado pontuação cheia para tabelas com 10 medidas ou mais. Se o aluno fizer menos de 10 medidas, será descontado um 0,7 pontos por medida faltante.	7.0
B.6 - Corretamente encontrar uma maneira de se realizar a linearização.	2.0
B.6 - Por corretamente apresentar a tabela, destacando unidades e o que significa as quantias de cada coluna.	1.0
B.6 - Por corretamente apresentar os dados linearizados em uma tabela. Se o aluno fizer menos de 10 medidas, será descontado 0,5 pontos por medida faltante.	5.0
B.7 - Por encontrar os coeficientes	2.0
B.7 - Por mostrar que eles são condizentes com o esperado	1.0
TOTAL	44.0



4.3 Analisando difrações

Parte A: Um fio de cabelo

Solução A.1

A fórmula que determina os mínimos dessa difração é:

$$d \sin \theta = m \lambda$$

Onde λ é o comprimento de onda, d é o diâmetro buscado, θ é o ângulo que localiza o mínimo e m é um inteiro. Seja y a distância de um mínimo com respeito ao máximo central. Porém, em aproximação, podemos dizer que a diferença entre dois mínimos é a mesma que a entre dois máximos. Assim, vamos fazer medidas com respeito a máximos, por eles serem mais fáceis de visualizar.

O ângulo θ é tal que:

$$\sin \theta = \frac{y}{\sqrt{y^2 + D^2}}$$

Não há problema em aproximar tal valor para a $\tan \theta$, caso o estudante tenha feito isso.

Precisamos medir as posições dos máximos com respeito ao máximo central. Para isso, a maneira mais sugerida é utilizar uma régua. É possível definir um aumento A como a razão entre 1cm marcado na régua e o espaçamento desse 1cm na figura, medido por uma régua. Assim, para encontrarmos tais posições, basta medir os mínimos com respeito centro utilizando uma régua e depois multiplicar pelo aumento para obter as distâncias reais.

Analisar mais máximos aumenta a precisão do método. Ainda mais se você medir os máximos de ambos os lados do máximo central e fazer uma média entre eles.

Um exemplo de tabela possível seria:

m	$y_{\text{médio}}(\text{cm})$
1	0,54
2	0,96
3	1,38

Assim, obtemos o seguinte valor de d :

$$d \approx 77,38 \cdot 10^{-6} \text{m}$$

Parte B: Redes de difração

Solução B.1

A fórmula que determina os máximos dessa difração é:

$$d \sin \theta = m \lambda$$

Onde λ é o comprimento de onda, d é o diâmetro buscado, θ é o ângulo que localiza o máximo e m é um inteiro, de forma que $m = 0$ é o máximo central, $m = 1$ é o próximo máximo e assim por diante. Seja y a distância de um máximo com respeito ao máximo central. O ângulo θ é tal que:

$$\sin \theta = \frac{y}{\sqrt{y^2 + D^2}}$$



Olimpíada Brasileira Online de Física Experimental



Não há problema em aproximar tal valor para a $tg\theta$, caso o estudante tenha feito isso.

Precisamos medir as posições dos máximos com respeito ao máximo central. Para isso, a maneira mais sugerida é utilizar uma régua. É possível definir um aumento A como a razão entre 1cm marcado na régua e o espaçamento desse 1cm na figura, medido por uma régua. Assim, para encontrarmos tais posições, basta medir os máximos com respeito centro utilizando uma régua e depois multiplicar pelo aumento para obter as distâncias reais.

Para aumentar a precisão do nosso método, vamos medir a posição dos 2 máximos visíveis e fazer uma média entre elas. Utilizando a fórmula para calcular d , obtêm-se:

$$d \approx 1,041 \cdot 10^{-6} \text{m}$$

Ou seja, a cada 1mm, existem aproximadamente 1041 fendas na rede(1041linhas/mm), de acordo com nossas medidas. O valor verdadeiro é 1000linhas/mm.

Marking Scheme

Parte A — 10.0 pts	Pts
A.1 - Por detalhar corretamente o procedimento usado, incluindo descrever a análise teórica.	6.0
A.1 - Por fazer 6 medidas(se você pegou dois valores para encontrar uma média, isso será considerado 2 medidas). Será descontado 0,5 pontos por cada medida faltante.	3.0
A.1 - Por encontrar um valor entre 40mm e 115mm.	1.0
Parte B — 10.0 pts	Pts
B.1 - Por detalhar corretamente o procedimento usado, incluindo descrever a análise teórica.	6.0
B.1 - Por corretamente tirar medidas acerca dos dois máximos visíveis(1 ponto por máximo).	2.0
B.1 - Por encontrar um valor entre 800linhas/mm e 1200linhas/mm	2.0
TOTAL	20.0