



Olimpíada Brasileira Online de Física Experimental

2ª Fase - 15 e 16 de Novembro de 2025

Nome: _____

Série: _____

Jayme Tiomno
Nível Aberto
Português

Instruções de Prova

- I. Esta prova contém 4 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:

Jayme Tiomno (Rio de Janeiro, 16 de abril de 1920 – Rio de Janeiro, 12 de janeiro de 2011) foi um proeminente físico teórico brasileiro, reconhecido internacionalmente por suas contribuições à física de partículas. Foi um dos fundadores do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF) e membro da Academia Brasileira de Ciências. Seus trabalhos sobre interações fracas, realizados em colaboração com gigantes como John Wheeler, foram pioneiros e levaram à proposição da universalidade da interação fraca, um conceito fundamental para o Modelo Padrão. Recebeu a Grã-Cruz da Ordem Nacional do Mérito Científico e é lembrado por sua atuação decisiva na formação de novas gerações de físicos e na consolidação da física teórica no Brasil.



1 Cinemática de uma captura

Introdução

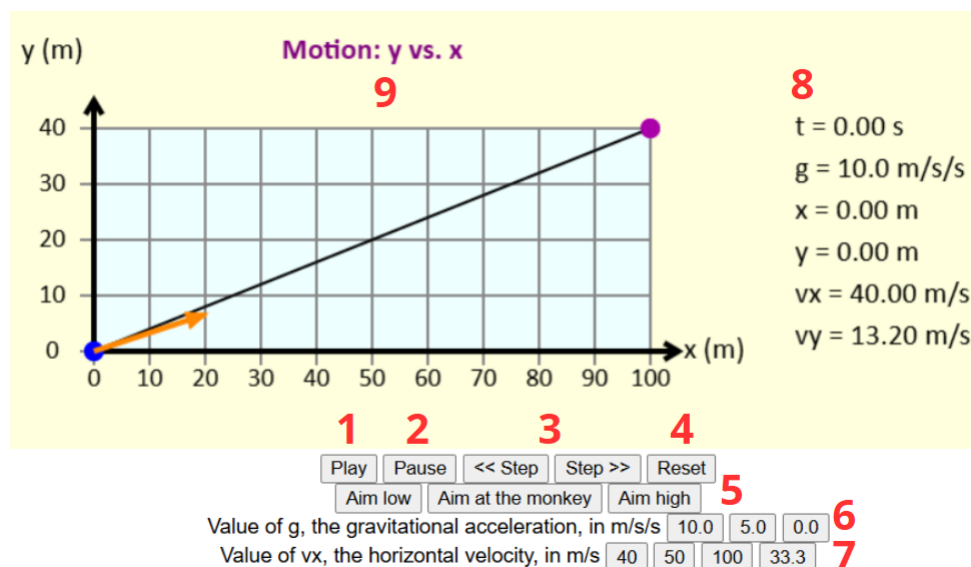
Um pesquisador deseja atingir um animal com um dardo tranquilizante para poder estudá-lo e, depois, devolvê-lo à natureza. Porém, o animal, que estava pendurado em uma árvore, cai no mesmo instante em que o dardo é atirado, proporcionando uma dificuldade maior para acertá-lo.

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 $t = 0s$. 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 $33,3m/s$. 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 $x = 100m$

Parte A: Lançamento Oblíquo

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

Item A.1

(7 pontos)

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

Item A.2

(7 pontos)

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



Olimpíada Brasileira Online de Física Experimental



y (m)	x (m)

Tabela: y x x

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

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

(10 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 .

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

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

Item B.2

(2 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?

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.

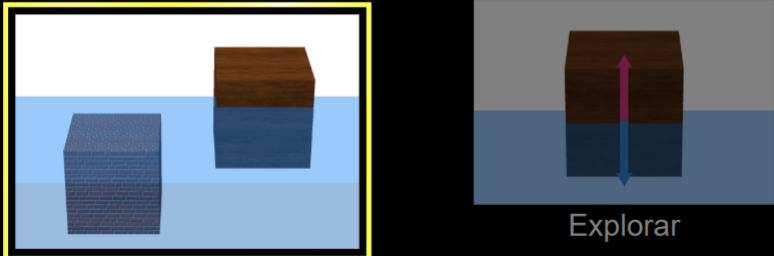
Apresentando o simulador

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:

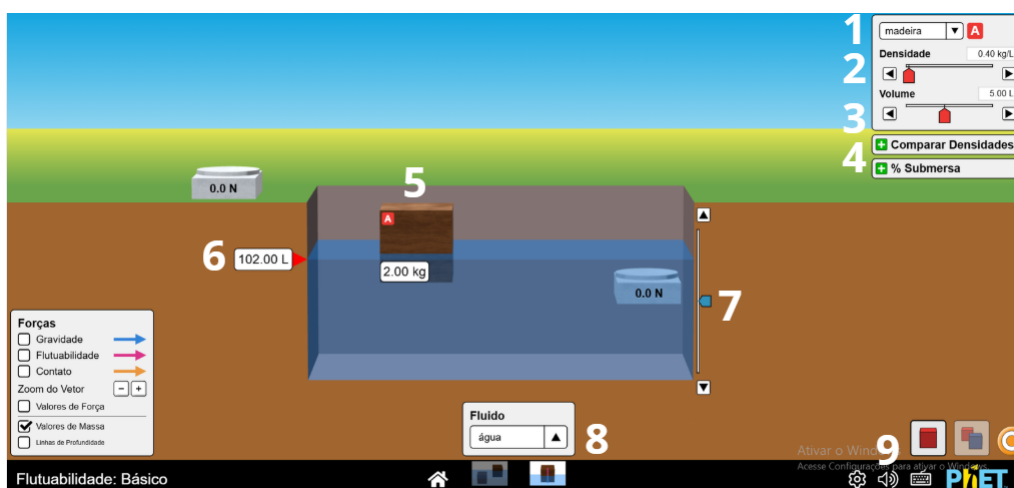
Atenção: Clique em "Explorar" e NÃO em "Comparar". Após clicar em explorar, a seguinte interface irá aparecer: Nessa interface, podemos encontrar os seguintes elementos:



Flutuabilidade: Básico



Comparar



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.



Olimpíada Brasileira Online de Física Experimental



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: 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!

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 A.1

(3 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 A.2

(8 pontos)

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

Item A.3

(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 A.4

(7 pontos)

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

F (N)	V (L)

Tabela: $F \times V$



Item A.5

(7 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.

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

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

Item A.6

(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

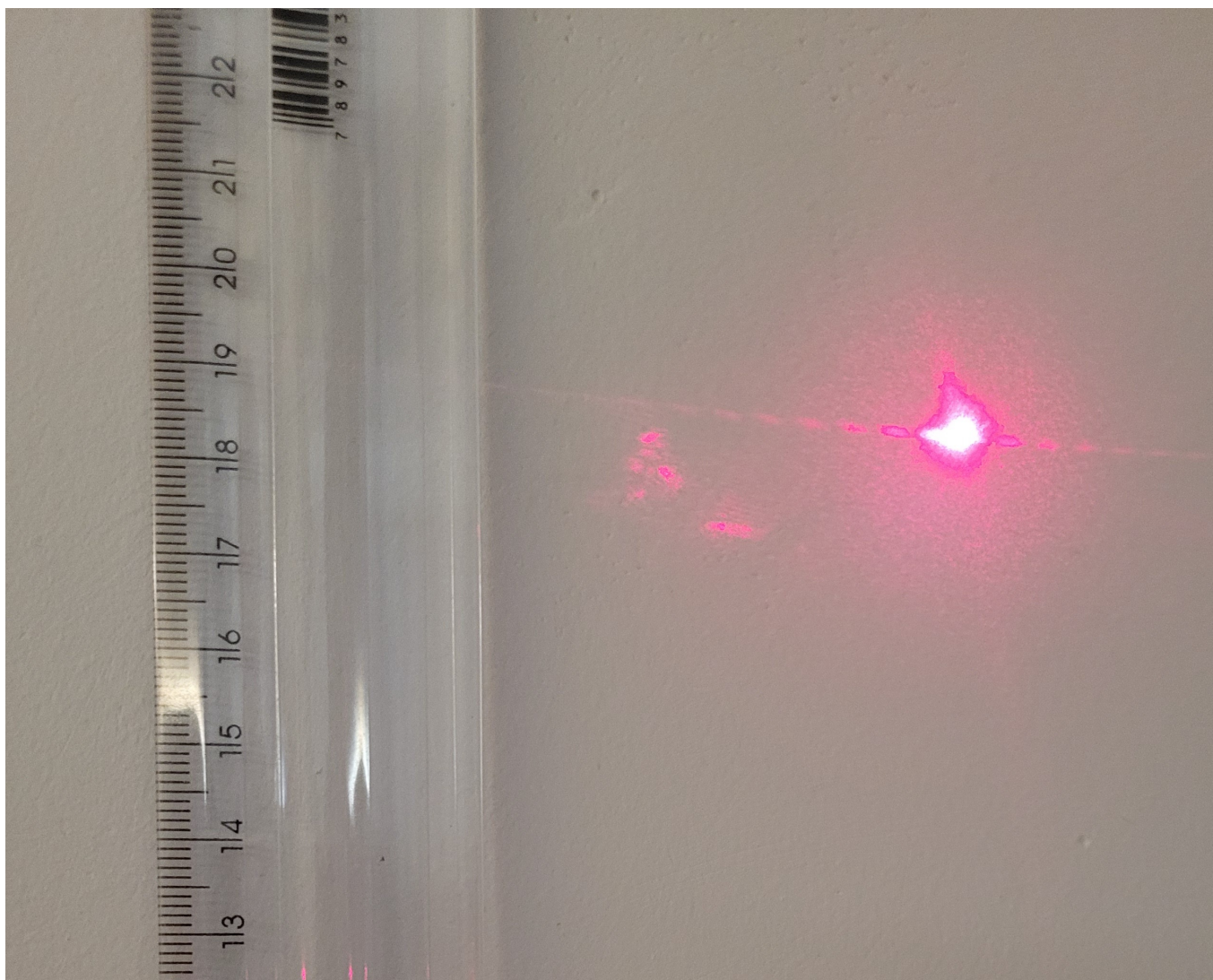
Como dito, não será necessário o uso de simuladores neste experimento, pois você apenas terá que analisar as fotos presentes. Em todas as fotos, desconsidere efeitos de paralaxe e possíveis imprecisões causadas pelo ângulo em que a foto foi tirada.

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:



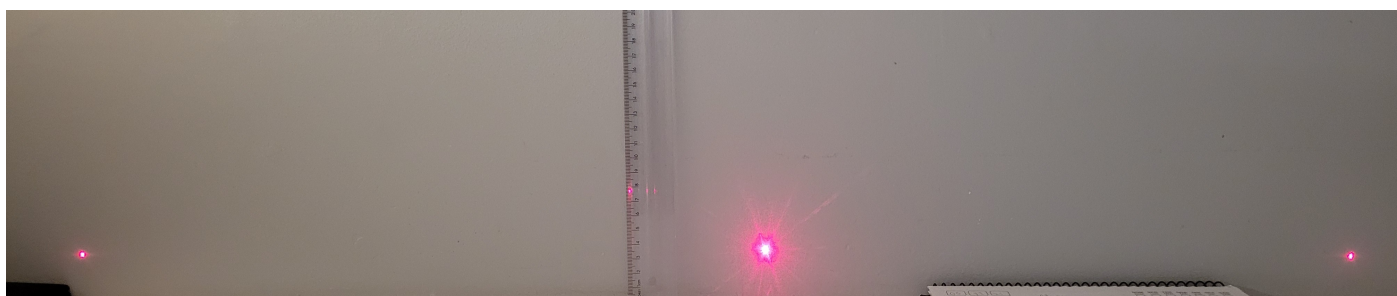
Item A.1

(8 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

(8 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.

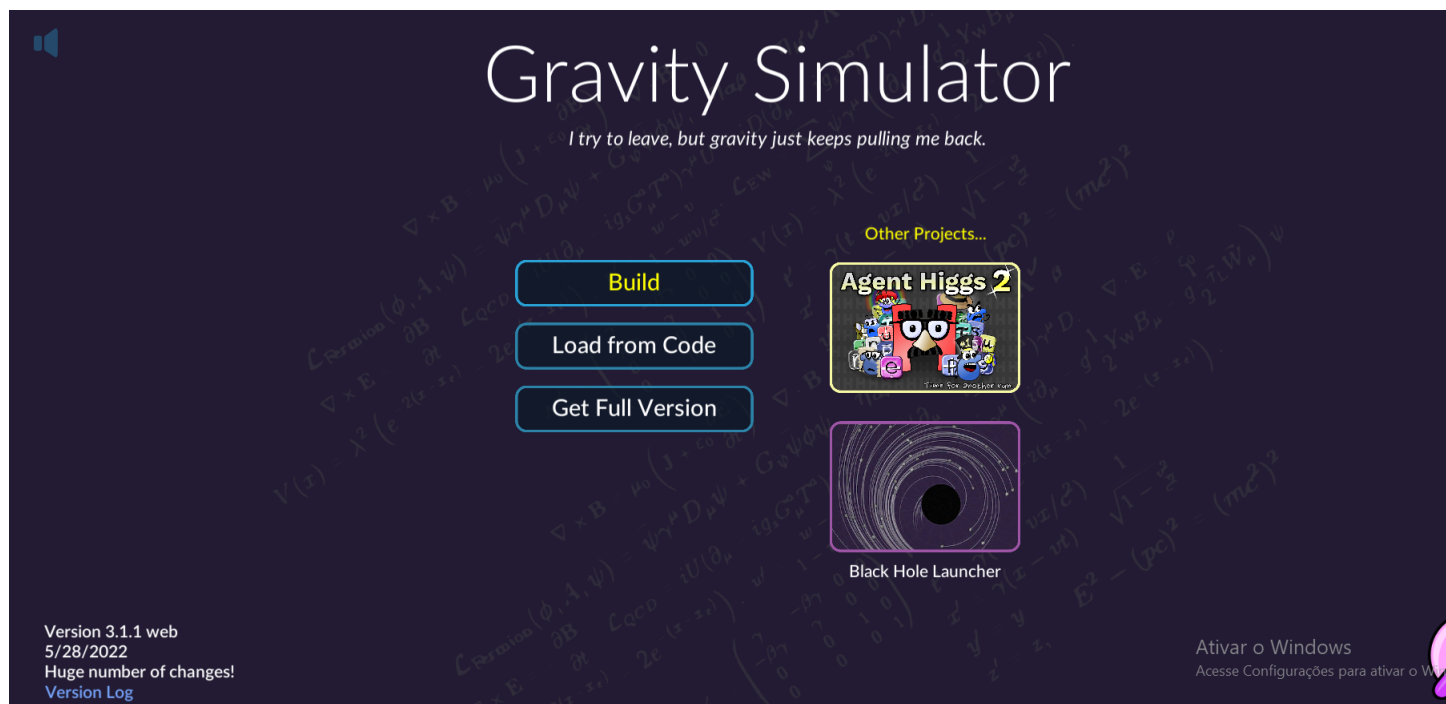
4 Encontrando padrões em um sistema de 3 corpos

Introdução

Neste experimento, vamos desvendar padrões em um sistema gravitacional de 3 corpos, que é conhecido por ser caótico. Ou seja, mudanças ínfimas nas condições iniciais podem gerar comportamentos completamente diferentes nesta simulação. Porém, ainda podemos fazer ricas análises destes sistemas!

Apresentando o simulador

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



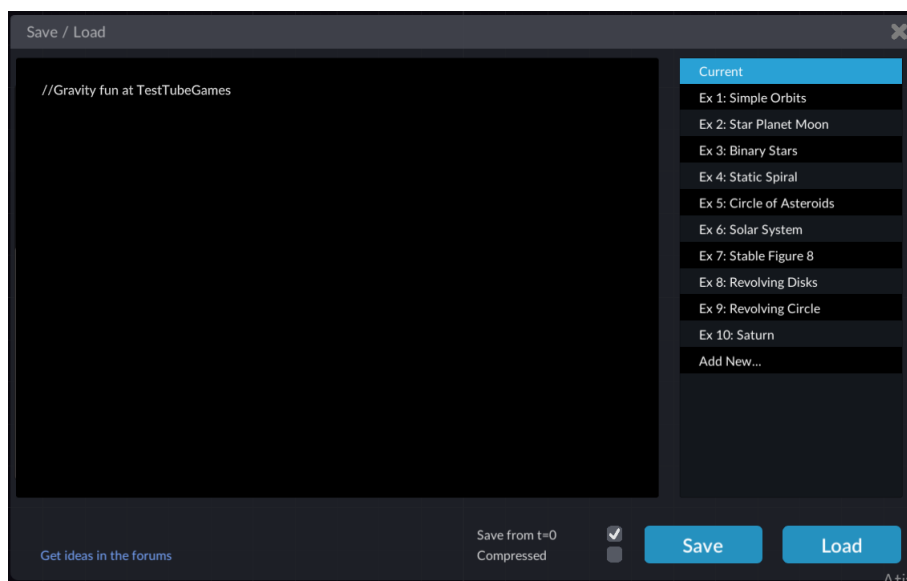
Aperte em "Load from Code" para continuar. Ao fazer isso, você irá se deparar com a seguinte tela:

Nessa tela, aperte em "Ex 7: Stable Figure 8" e depois em "Load". Após isso, vamos finalmente entrar na simulação:

1. Neste botão, você paralisa a simulação. Ao apertá-lo novamente, a simulação volta de onde parou.
2. Ao apertar este botão, você retorna a uma tela que comentamos anteriormente. Aperte em "Ex 7: Stable Figure 8" e depois em "Load" para reiniciar a simulação. **ATENÇÃO:** Se você pausar a simulação e depois



Olimpíada Brasileira Online de Física Experimental



Captura de tela 2025-11-12 134931.png

fizer esse processo para reiniciá-la, a sua simulação irá *começar pausada*. Isso é essencial para algumas partes deste experimento, que envolvem mudanças nas condições iniciais do sistema.

3. Por meio dessa opção, é possível alterar o "zoom" da simulação.
4. Por meio dessa opção, é possível medir o tempo da simulação, mudar a velocidade da simulação e fazer a simulação progredir "em reverso". Algumas dessas funções podem ser essenciais para o experimento.
5. Ao apertar neste botão, alguns botões aparecem acima dele.
6. Ao passar o cursor sobre esse botão, você pode ver se a simulação está no modo "Merge On" ou no modo "Ghost Mode". É essencial realizar a parte B deste experimento com o seu simulador no modo "Merge On". Você pode alternar entre modos apertando neste botão.
7. Apertando em um planeta, é possível ver algumas de suas propriedades.
8. Neste botão, é possível desligar o volume da simulação, caso você queira fazer isso.

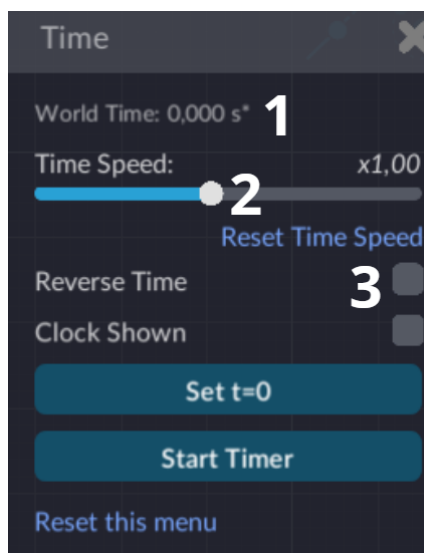
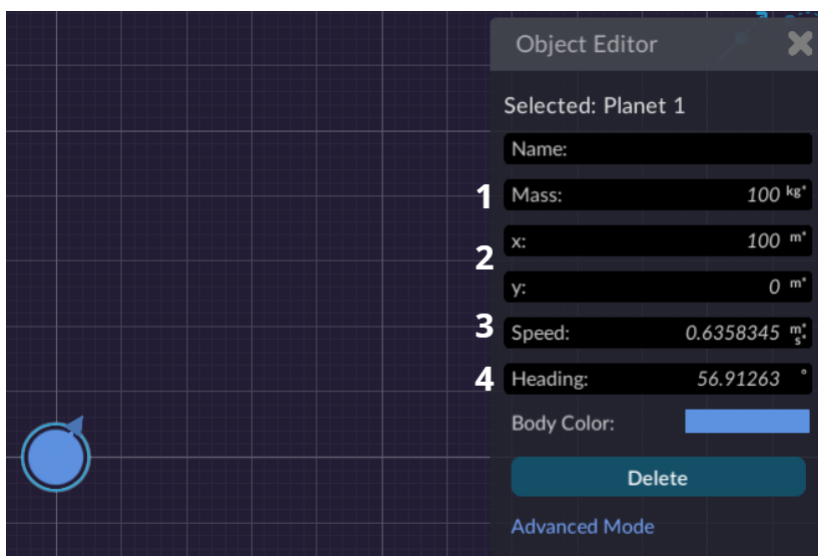
É importante que você evite apertar nos botões que não foram destacados, pois esses podem atrapalhar seu experimento.

Este simulador usa um sistema de unidades diferentes. Não será relevante ao experimento entender esse novo sistema de unidades, mas você precisa escrever respostas literais nesta unidade.

Ao clicar em um planeta, a seguinte interface aparecerá:

1. Aqui, é mostrada a massa do planeta, em kg^* . Perceba que, ao clicar neste espaço, é possível reescrever a massa do planeta.
2. Nesta área, são mostradas as coordenadas horizontais (x) e verticais (y) em unidades de m^* .
3. Aqui, é mostrado a velocidade do planeta no instante da medida, em m^*/s^* . Perceba que ao clicar neste espaço, é possível reescrever a velocidade do planeta.

Analogamente, ao apertar o botão sinalizado como 4, você se depara com a interface:



1. "World time" significa o tempo passado desde do começo da simulação, que está sendo medido em s^*
2. Ao mover esse círculo com seu cursor, você pode alterar a velocidade da simulação.
3. Ao apertar esse botão, a simulação irá progredir "em reverso". Ou seja, irá "voltar no tempo".

Parte A: Uma solução estável?

Vamos estudar a simulação sem fazer nenhuma modificação nas propriedades dos planetas. Ou seja, vamos analisar os movimentos em formato de 8 feito pelos mesmos. Essa parte teve inspiração em uma incrível questão criada por Maté Vigh e Jaan Kaalda.

Item A.1

(5 pontos)

Mostre que os momentos linear e angular do sistema são nulos, por meios teóricos. Verifique se isso ocorre no simulador, calculando explicitamente os momentos linear e angular por meio de dados.

Nos próximos itens, vamos lidar com medições de tempo. Lembre-se de medir intervalos de tempo por meio do próprio simulador, tirando medidas em s^* .



Olimpíada Brasileira Online de Física Experimental



Item A.2

(3 pontos)

Faça medidas acerca do período do sistema (tempo até um corpo voltar à sua posição original). Registre suas medidas em uma tabela e calcule o período médio.

T_1 (s)	T_2 (s)	...	T_n (s)	$T_{\text{médio}}$ (s)

Tabela: Medidas de período

Item A.3

(8 pontos)

Sejam O o ponto que sinaliza o centro do sistema (que, neste caso, equivale à origem) e P_1 e P_2 os outros dois pontos que estão no eixo de simetria da figura em formato de 8. Calcule o tempo que demora até que o planeta da esquerda chegue em O e o tempo que o planeta à direita demora até chegar no ponto P_1 , se o ponto P_1 está mais próximo dele do que P_2 , a partir das posições destes planetas no começo da simulação. Faça tudo por meios teóricos. Não confunda direções: caso tenha dúvida, o planeta que está à direita possui coordenada horizontal positiva.

Item A.4

(4 pontos)

Faça medidas do tempo que demora para o planeta da esquerda chegar no ponto O . Registre suas medidas em uma tabela e calcule o tempo médio. O seu resultado é compatível com o calculado em A.3?

t_1 (s)	t_2 (s)	...	t_n (s)	$t_{\text{médio}}$ (s)

Tabela: Medidas de tempo até O

Item A.5

(4 pontos)

Faça medidas do tempo que demora para o planeta da direita chegar no ponto P_1 . Registre suas medidas em uma tabela e calcule o tempo médio. O seu resultado é compatível com o calculado em A.3?

Parte B: Modelo "Merge" e análise do caos

Garanta que nessa parte o seu simulador está no modo "Merge", pois isso será essencial. Nesse modelo, ao mudarmos um pouco as propriedades de um dos planetas, os planetas se movimentam por um tempo até fundirem em um planeta maior, que chamaremos de "planeta final". Considere que durante esse processo de fusão, momento ainda é conservado.



Olimpíada Brasileira Online de Física Experimental



t_1 (s)	t_2 (s)	...	t_n (s)	$t_{\text{médio}}$ (s)

Tabela: Medidas de tempo até P_1

Ao fazer qualquer mudança nas propriedades do planeta, garanta que você fez isso com o simulador parado e antes de ele começar.

Durante toda essa parte, mude apenas as propriedades do planeta no centro.

Perceba que as velocidades dos outros problemas v_p possuem módulo e sentido iguais no começo da simulação. Por fim, durante essa parte, você terá que medir velocidades. Sempre meça elas com 3 algarismos significativos (com um deles sendo o duvidoso), para facilitar suas medidas, apesar de você ter acesso a mais.

Item B.1

(4 pontos)

Sejam m' e v' as novas massas e velocidades do planeta localizado no centro (assuma que as velocidades mantenham suas direções), antes da simulação começar. Determine a massa e velocidade do "planeta final", por meios teóricos, em função das massas e velocidades dos planetas iniciais.

Agora, suponha que você não conheça o valor de v_p e deseje obtê-lo por meio de uma regressão. Lembre-se que a massa inicial dos planetas ainda é conhecida.

Item B.2

(10 pontos)

Mantendo a velocidade do planeta do centro a mesma que originalmente, varie a massa do planeta do centro e meça a velocidade do "planeta final". Registre seus resultados em uma tabela. Talvez seja útil definir um sentido para poder diferenciar velocidades positivas de velocidades negativas.

v_f (m/s)	m' (kg)

Tabela: v_f x m'

Item B.3

(10 pontos)

Linearize os seus dados da tabela anterior. Por meio de uma regressão entre os dados, determine v_p

$f(v_f)$	$g(m')$

Tabela: v_f x $g(m')$



Olimpíada Brasileira Online de Física Experimental

**Item B.4****(12 pontos)**

Mantendo a massa do planeta do centro a mesma que originalmente, varie a velocidade do planeta do centro e meça a velocidade do "planeta final". Registre seus resultados em uma tabela.

v_f (m/s)	v' (m/s)

Tabela: v_f x v'

Agora, suponha novamente que você não conheça o valor de v_p e deseje obtê-lo por meio de uma regressão.

Item B.5**(5 pontos)**

Por meio de uma regressão entre seus dados, obtenha v_p .