

AL 1.4 – Satélite geostacionário.

Questão - problema

Um satélite geostacionário descreve uma órbita aproximadamente circular à altitude de 35 880 km e com período de 24 horas, independentemente da sua massa.

Confrontar esta situação com a de um corpo preso a um cabo sobre uma plataforma rotativa de velocidade angular constante.

Objectivos

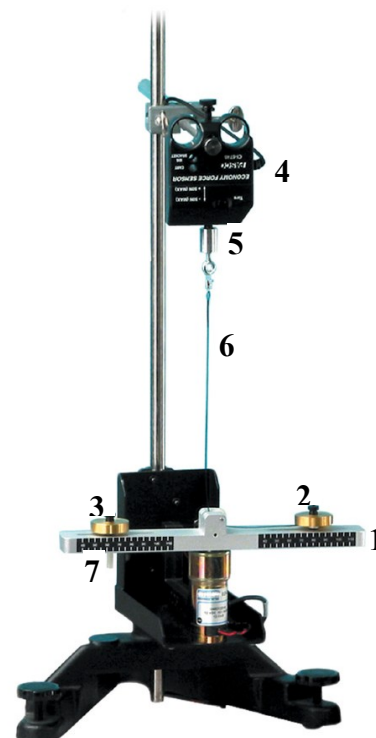
- Identificar as características da força que actua sobre um satélite geostacionário, considerando que descreve uma órbita circular com velocidade angular constante;
- Relacionar o módulo da aceleração do movimento circular do satélite com a velocidade angular deste e o raio da sua órbita;
- Explicar a razão pela qual um satélite em órbita circular em torno da Terra tem uma velocidade orbital independente da sua massa.
- Estabelecer a diferença entre as características da força exercida sobre o satélite pela Terra e por um cabo num corpo com movimento circular uniforme.

Questões pré - laboratoriais

- 1- Um carrinho está sobre um gira - discos que se move com movimento circular uniforme, preso ao eixo central por um dinamómetro.
 - a) Considera o movimento do carrinho em torno do eixo central e o movimento de um satélite geostacionário em torno do centro da Terra. Que semelhança e diferença há nas forças resultantes que actuam sobre o carrinho e sobre o satélite?
 - b) A velocidade de um satélite geostacionário dependerá da sua massa?
 - c) Como poderias determinar a frequência de rotação do gira - discos?
 - d) Como é que, a partir da leitura do dinamómetro, poderias determinar a aceleração do carrinho?
- 2- Considera um movimento circular uniforme qualquer.
 - a) Se a velocidade angular duplicar, e se o raio da trajectória e a massa do corpo forem constantes, o que acontece à aceleração?
 - b) Se o raio da trajectória for reduzido a metade e a velocidade angular e a massa do corpo forem constantes, o que acontece à aceleração?

Observa a figura ao lado.

A Plataforma rotativa (1) gira num eixo de baixo atrito. Sobre a plataforma são colocadas duas massas iguais (2 e 3). Uma das massas (2) pode mover-se livremente ao longo da plataforma e está ligada a um sensor de força (4) através de um grampo especial (5) que evita que o cabo (6) ligado ao sensor de força se enrole em si mesmo quando o sistema está em movimento. A outra massa (3) está fixa na outra extremidade da plataforma e serve apenas para equilibrar o sistema. O pino (7) vai intersectar o feixe de luz da célula fotoelétrica que foi colocada na base da plataforma rotativa.



Material

- Plataforma rotativa com motor	- Massas marcadas (duas de cada): 5 g; 10g; 20 g
- Célula fotoelétrica com cabo de ligação ao <i>smart timer</i>	- Contador digital de tempo (<i>Smart Timer</i>)
- Fonte de alimentação de tensão variável (0 - 12 v) e cabos de ligação ao motor	- Sensor de força
	- Base robusta e haste de aço
- Cabo de ligação da massa marcada ao sensor de força	- Calculadora gráfica e CBL 2 - Cabos de ligação do sensor de força ao CBL e deste à calculadora

Trabalho Laboratorial/ registos e cálculos

- 1 - Observar a montagem experimental da plataforma rotativa e do sensor de força no suporte (figura).
- 2 - Ligar a fonte de alimentação ao motor da plataforma rotativa. Verificar se o botão da fonte se encontra no valor de tensão mínima pois é nessa posição que deve estar quando se liga a fonte. Para ensaios em que a tensão a seleccionar seja superior, roda-se o botão progressivamente. Depois de qualquer ensaio, esse botão deve ser rodado, de novo progressivamente, para o seu valor mínimo, antes de desligar a fonte.
- 3 - Ligar o sensor de força à interface CBL 2 e esta à calculadora gráfica. Seleccionar, em APPS da calculadora, o programa DATAMATE e verificar a ligação do sensor ao canal do CBL escolhido.
- 4 - Ligar a célula fotoelétrica ao contador digital de tempo (*smart timer*). Seleccionar *TIME*, modo *PENDULUM*. Com esta selecção, será registado no visor o tempo que a plataforma rotativa demora a dar duas voltas completas - o dobro do período do movimento.
- 5 - Registar os valores da massa e do raio da circunferência que vai descrever.
- 6 - Verificar se o sensor de força marca zero antes de colocar a plataforma a rodar. Caso não marque zero, registar o valor indicado. Este será descontado ao valor médio da força calculado.
- 7 - Colocar a plataforma rotativa em movimento, accionando o botão *ON* da fonte de alimentação. Variar a tensão progressivamente até ao valor pretendido.
- 8 - Usar o botão start/stop do *smart timer* para registar cinco medidas do tempo (de duas voltas) para cada ensaio. Estes dados permitirão determinar o valor médio do período do movimento.
- 9 - Registar cinco medidas da intensidade da força aplicada no sensor. Com elas será determinado o valor médio da força centrípeta exercida na massa com movimento circular uniforme.
- 10 - Determinar a velocidade angular do movimento, usando o valor médio do período. Registar também o valor do quadrado da velocidade angular.
- 11 - Aplicar a 2ª lei de Newton para obter a aceleração centrípeta do movimento a partir do valor médio da força centrípeta.
- 12 - Calcular a intensidade da força exercida pelo cabo sobre a massa, usando a relação $F_c = m w^2 r$. Comparar com o valor obtido em 9. Calcular o erro percentual.

Experiência 1: Aceleração centrípeta versus velocidade angular

- 1 - Colocar de ambos os lados da plataforma rotativa uma massa marcada de **20 g**. Seleccionar o raio de **50 mm** fazendo a leitura na régua graduada. O cabo que liga a massa livre ao sensor de força deverá ser esticado quando se apertar o parafuso que prende essa massa.
- 2 - Registar na tabela 1 os valores da massa e do raio, em unidades SI.
- 3 - Verificar se o sensor de força marca zero antes de colocar a plataforma a rodar. Caso não marque zero, registar o valor indicado. Este será descontado ao valor médio da força calculado.
- 4 - Colocar a plataforma rotativa em movimento, accionando o botão *ON* da fonte de alimentação. Fazer variar a velocidade angular alterando a diferença de potencial aplicada ao motor: 2v; 3v; 4v; 5v; 6v; 8v. Para cada valor de tensão da fonte, fazer os registos e cálculos indicados nos pontos 8. a 12. dos tópicos anteriores (usar a tabela 1).
- 5 - Construir o gráfico da aceleração centrípeta, a_c , em função do quadrado da velocidade angular, W^2 . Encontrar a linha que melhor se ajusta aos pontos do gráfico. Identificar o declive e compará-lo com o valor seleccionado para esta experiência.

Tabela 1

Raio - $r = 0,05 \text{ m}$		Massa - $m = 0,02 \text{ kg}$		O sensor marcava $0,102 \text{ N}$ antes da rotação da placa				
Dados			Cálculos					
$V = 2 \text{ v}$	$2 T \text{ (s)}$	$F_c \text{ (N)}$	$\overline{2T} \text{ (s)}$	$\overline{T} \text{ (s)} = \frac{\overline{2T}}{2} \text{ (s)}$	$\overline{F_c} \text{ (N)}$	$W = \frac{2\pi}{\overline{T}} \text{ (rad/s)}$	W^2	$a_c = \frac{\overline{F_c}}{m} \text{ (ms}^{-2}\text{)}$
	1.3024	0.152	1.2317	0.616	0.162 0.06	10.195	103.9	3.0
	1.2258	0.177						
	1.2183	0.152						
	1.2073	0.177						
	1.2046	0.152						
			$F_c = m W^2 r = 0.104$					
% erro 42.3% (este ensaio é dispensável)								
O sensor marcava $0,152 \text{ N}$ antes da rotação da placa								
Dados			Cálculos					
$V = 3 \text{ v}$	$2 T \text{ (s)}$	$F_c \text{ (N)}$	$\overline{2T} \text{ (s)}$	$\overline{T} \text{ (s)} = \frac{\overline{2T}}{2} \text{ (s)}$	$\overline{F_c} \text{ (N)}$	$W = \frac{2\pi}{\overline{T}} \text{ (rad/s)}$	W^2	$a_c = \frac{\overline{F_c}}{m} \text{ (ms}^{-2}\text{)}$
	0.7043	0.449	0.7024	0.3512	0.4836 0.3316	17.88	319.7	16.58
	0.7035	0.474						
	0.7022	0.523						
	0.7007	0.449						
	0.7012	0.523						
			$F_c = m W^2 r = 0.3196$					
% erro 3.8%								
Dados			Cálculos					
$V = 4 \text{ v}$	$2 T \text{ (s)}$	$F_c \text{ (N)}$	$\overline{2T} \text{ (s)}$	$\overline{T} \text{ (s)} = \frac{\overline{2T}}{2} \text{ (s)}$	$\overline{F_c} \text{ (N)}$	$W = \frac{2\pi}{\overline{T}} \text{ (rad/s)}$	W^2	$a_c = \frac{\overline{F_c}}{m} \text{ (ms}^{-2}\text{)}$
	0.4989	0.87	0.4970	0.2485	0.8504 0.698	25.27	638.6	34.9
	0.4973	0.821						
	0.4973	0.796						
	0.4959	0.92						
	0.4956	0.845						
			$F_c = m W^2 r = 0.6386$					
% erro 9.3%								
Dados			Cálculos					
$V = 5 \text{ v}$	$2 T \text{ (s)}$	$F_c \text{ (N)}$	$\overline{2T} \text{ (s)}$	$\overline{T} \text{ (s)} = \frac{\overline{2T}}{2} \text{ (s)}$	$\overline{F_c} \text{ (N)}$	$W = \frac{2\pi}{\overline{T}} \text{ (rad/s)}$	W^2	$a_c = \frac{\overline{F_c}}{m} \text{ (ms}^{-2}\text{)}$
	0.3872	1.291	0.3851	0.1926	1.2962 1.144	32.60	1062.8	57.2
	0.3850	1.341						
	0.3844	1.316						
	0.3842	1.217						
	0.3847	1.316						
			$F_c = m W^2 r = 1.06$					
% erro 7.5%								

Raio - r = 0,05 m		Massa - m = 0.02 kg		O sensor marcava 0,152 N antes da rotação da placa				
Dados		Cálculos						
V = 6 v	2 T (s)	F _c (N)	$\overline{2T}$ (s)	$\overline{T}(s) = \frac{\overline{2T}}{2}$ (s)	$\overline{F_c}$ (N)	$W = \frac{2\pi}{\overline{T}}$ (rad/s)	W ²	$a_c = \frac{\overline{F_c}}{m}$ (ms ⁻²)
	0.3162	1.663	0.3159	0.158 0.16 3a)	1.7816 1.63	39.75 39.25	1580.1 1540.6 3a)	81.5
	0.3158	1.836						
	0.3155	1.861						
	0.3159	1.811						
	0.3159	1.737						
F _c = m W ² r = 1.58								
			% erro 3.2%					
Dados		Cálculos						
V = 8 v	2 T (s)	F _c (N)	$\overline{2T}$ (s)	$\overline{T}(s) = \frac{\overline{2T}}{2}$ (s)	$\overline{F_c}$ (N)	$W = \frac{2\pi}{\overline{T}}$ (rad/s)	W ²	$a_c = \frac{\overline{F_c}}{m}$ (ms ⁻²)
	0.2341	3.421	0.2338	0.1169	3.312 3.16	53.72	2885.8	158.0
	0.2337	3.124						
	0.2336	3.149						
	0.2340	3.421						
	0.2335	3.446						
F _c = m W ² r = 2.89								
			% erro 9,3%					

Experiência 2: Aceleração centrípeta versus raio da trajectória

- 1 - Alterar as massas colocadas na plataforma, colocando sobre elas uma massa marcada de 10 g. A massa usada nos ensaios desta experiência será de **30 g**. Registrar o valor da massa em unidades SI na tabela 2.
- 2 - No primeiro ensaio seleccionar o raio de **50 mm** para a trajectória. Nos dois ensaios seguintes variar o raio para **70 mm e 100 mm**. Os valores dos raios, em unidades SI constam da tabela 2.
- 3 - Verificar se o sensor de força marca zero antes de colocar a plataforma a rodar. Caso não marque zero, registrar o valor indicado. Este será descontado ao valor médio da força calculado.
- 4 - Colocar a plataforma rotativa em movimento, accionando o botão ON da fonte de alimentação. Fazer variar a velocidade angular alterando a diferença de potencial aplicada ao motor até **6v**. Manter a velocidade da placa rotativa em todos os ensaios a realizar, seleccionando a tensão de 6v na fonte de alimentação. Fazer os registos e cálculos indicados na tabela 2.
- 5 - Construir o gráfico da aceleração centrípeta, ac, em função do raio da trajectória, r. Encontrar a linha que melhor se ajusta aos pontos do gráfico. Identificar o declive e compará-lo com o valor calculado com os dados desta experiência.

Tabela 2

d.d.p. - 6 v		Massa - m = 0,03 kg		O sensor marcava 0,152 N antes da rotação da placa				
Dados		Cálculos						
r = 0,05m	2 T (s)	F _c (N)	$\overline{2T}$ (s)	$\overline{T}(s) = \frac{\overline{2T}}{2}$ (s)	$\overline{F_c}$ (N)	$W = \frac{2\pi}{\overline{T}}$ (rad/s)	W ²	$a_c = \frac{\overline{F_c}}{m}$ (ms ⁻²)
	0,3182	2.307	0.3176	0.1588 0.16 3b)	2.545 2.39	39.54 39.25 3b)	1563.4 1540.6	79.7
	0,3179	2.604						
	0,3182	2.579						
	0,3172	2.555						
	0,3167	2.678						
F _c = m W ² r = 2.31								
			% erro 3.4%					

d.d.p. - 6 v		Massa - m = 0.03 kg		O sensor marcava 0,152 N antes da rotação da placa					
		Dados		Cálculos					
		2 T (s)	F _c (N)	$\overline{2T}$ (s)	$\overline{T}(s) = \frac{\overline{2T}}{2}$ (s)	$\overline{F_c}$ (N)	$W = \frac{2\pi}{\overline{T}}$ (rad/s)	W ²	$a_c = \frac{\overline{F_c}}{m}$ (ms ⁻²)
r = 0,07m		0.3192	3.471	0.3191	0.1596	3.58	39.35	1548.4	114.3
		0.3190	3.19			3.43			
		0.3190	3.62						
		0.3194	3.818						
		0.3190	3.966						
				F _c = m W ² r = 3.24					
				% erro 5.9%					
d.d.p. - 6 v		Massa - m = 0.03 kg							
		Dados		Cálculos					
		2 T (s)	F _c (N)	$\overline{2T}$ (s)	$\overline{T}(s) = \frac{\overline{2T}}{2}$ (s)	$\overline{F_c}$ (N)	$W = \frac{2\pi}{\overline{T}}$ (rad/s)	W ²	$a_c = \frac{\overline{F_c}}{m}$ (ms ⁻²)
r = 0,1m		0.3224	5.032	0.3221	0.1611	5.037	39.98	1598.4	162.8
		0.3220	4.809			4.885			
		0.3221	5.23						
		0.3223	5.081						
		0.3219	5.032						
				F _c = m W ² r = 4.795					
				% erro 1.9%					

Experiência 3: Aceleração centrípeta versus massa

- a) Na experiência 1 usaste uma massa de 20 g a descrever uma trajectória de raio 50 mm. Obtiveste o valor da aceleração centrípeta para uma velocidade angular resultante da aplicação de uma tensão de 6 v aos terminais do motor. $a_c = 81.5 \text{ ms}^{-2}$
- b) Na experiência 2 usaste uma massa de 30 g a descrever uma trajectória de raio 50 mm. Obtiveste o valor da aceleração centrípeta para uma velocidade angular resultante da aplicação de uma tensão de 6 v aos terminais do motor. $a_c = 79.7 \text{ ms}^{-2}$
- 1- Usa agora massas de 35 g para poderes concluir se a aceleração centrípeta do movimento depende da massa do corpo em movimento circular uniforme. Aplica ao motor a mesma tensão (6 v) e mantém o raio da trajectória, r = 50 mm. $a_c = 81.4 \text{ ms}^{-2}$
- 2- Completa a tabela 3 e traça o gráfico da aceleração em função da massa. Encontra a linha que melhor se ajusta ao gráfico. A aceleração centrípeta depende da massa do corpo em movimento?

Tabela 3

Raio - r = 0,05 m		Massa - m = 0,035 kg							
		Dados		Cálculos					
		2 T (s)	F _c (N)	$\overline{2T}$ (s)	$\overline{T}(s) = \frac{\overline{2T}}{2}$ (s)	$\overline{F_c}$ (N)	$W = \frac{2\pi}{\overline{T}}$ (rad/s)	W ²	$a_c = \frac{\overline{F_c}}{m}$ (ms ⁻²)
V = 6 v		0.3157	3.003	0.3156	0.1578	3.002	39.79	1583.2	81.4
		0.3155	3.102		0.16	2.850	39.25	1540.6	
		0.3157	2.902						
		0.3156	2.901						
		0.3157	3.102						
				F _c = m W ² r = 2.771					
				% erro 2.9%					

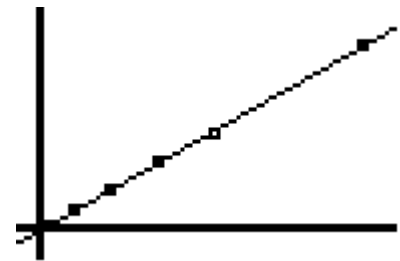
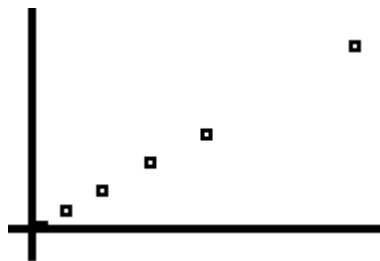
Questões pós laboratoriais

- 1 - O movimento de um satélite geostacionário tem características bem definidas: o período é de 24 h e a altitude é de 35 880 km. A sua velocidade orbital, v , dependerá da sua massa? Sugestão: baseia-te na expressão $a_c = \frac{v^2}{r}$ e nos resultados da experiência 3 desta actividade para fundamentares a resposta.
- 2 - Justifica a seguinte afirmação: "um corpo assente numa plataforma giratória tem movimento circular e uniforme e a sua velocidade varia".

Gráfico da aceleração centrípeta em função do quadrado da velocidade angular

L1	L2	L3	3
103.9	3		
319.69	16.58		
638.57	34.9		
1062.8	57.2		
1580.1	81.5		
2885.8	158		

L3(1)=

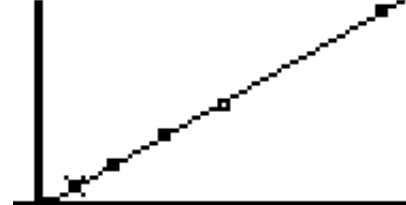


P1:L1:L2



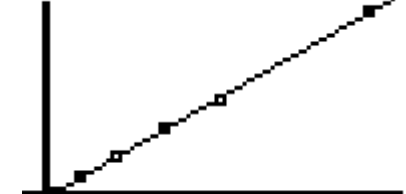
X=103.9 Y=3

P1:L1:L2



X=319.69 Y=16.58

P1:L1:L2



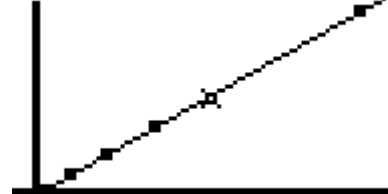
X=638.57 Y=34.9

P1:L1:L2



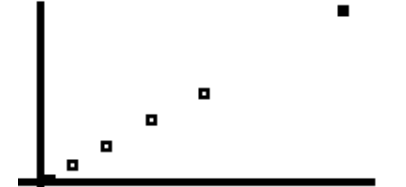
X=1062.76 Y=57.2

P1:L1:L2



X=1580.06 Y=81.5

P1:L1:L2



X=2885.84 Y=158

```

Plot1 Plot2 Plot3
\Y1=
\Y2= .05494959224
808X+ -1.83047859
6758
\Y3=
\Y4=
\Y5=

```

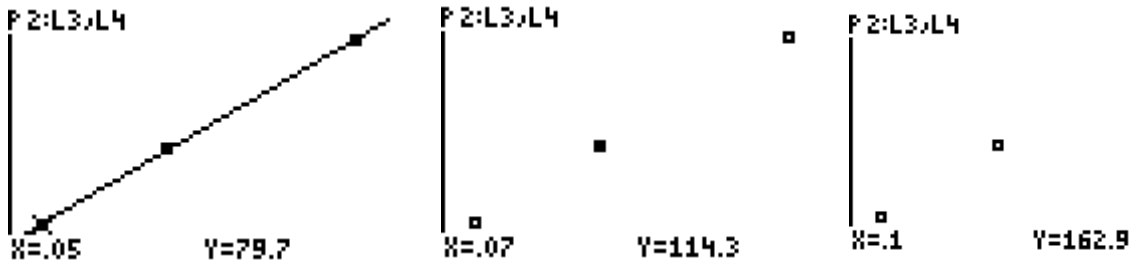
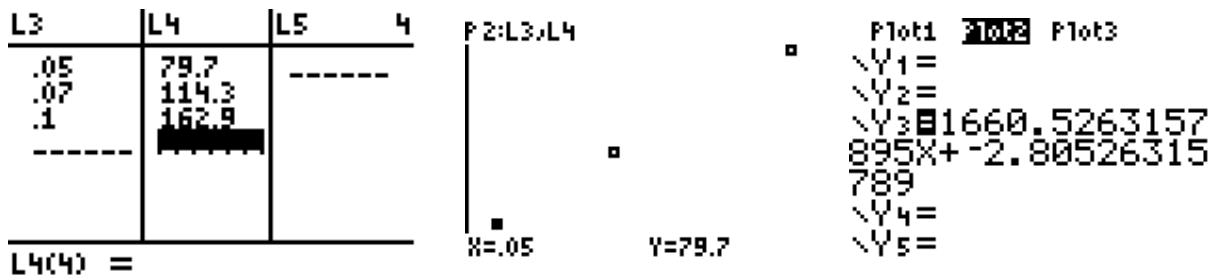
```

0.055-0.05
Ans/0.05 .005
Ans*100 .1
10

```

A percentagem de erro na determinação do raio da trajectória usando o declive da recta de regressão é de 10%

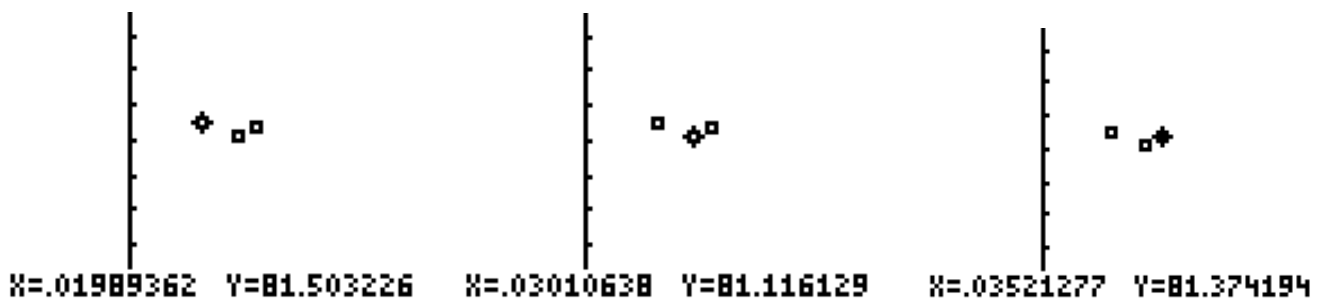
Gráfico aceleração centrípeta em função do raio da trajectória



$1660.5 - 1540.6$
 $\quad\quad\quad 119.9$
 Ans / 1540.6
 $\quad\quad\quad .0778268207$
 Ans * 100
 $\quad\quad\quad 7.782682072$

A percentagem de erro na determinação do quadrado da velocidade angular do movimento usando o declive da recta de regressão é de 7,8%

Gráfico aceleração centrípeta em função da massa do corpo em movimento circular uniforme



A aceleração centrípeta é independente da massa do corpo