Caderno de atividades experimentais de Física

Mecánica e gravitación

Este caderno é de:

Actividade 1: Movemento circular uniforme.

Obxectivo: realizaremos o estudo dun movemento circular e uniforme. Ademais, estudaremos o erro absoluto e o erro relativo cometidos na experiencia recordando as súas definicións e sistemas de calculo, que aplicaremos despois ás seguintes determinacións.

Faremos uso dunha gravación de video que toparás en:
https://www.youtube.com/watch?v=49NWlv7CzIQ

O dispositivo basicamente é unha polea cónica que xira por medio dun motor alimentado por enerxía elétrica e trasmite o seu movemento por medio dunha correia de trasmisión a un disco que xira realizando un movemento circular uniforme (M.C.U)
Observa o dispositivo, e realiza un esquema descriptivo explicando o funcionamento.

Procedemento:

Realizamos duas experiencias con duas velocidades de xiro. A primeira coa correia conetada no nível 2 da polea, e a segunda no nível 3. Os pasos serán os mesmos nos dous casos.

Moi importante: anota a sensibilidade do cronómetro que uses.

Agora, ve o video e mide o tempo que tarda en realizar 10 revolucións completas (T_{10}) co nível 2 e logo co nível 3. Debes facer 10 medidas para cada determinación.
A partir dese dato medido, determinamos T ($T_{10}/10$). Tomaremos como valor verdadeiro o valor promedio, é dicir, a media aritmética dos T (na taboa identifícase como $\mathbf{T_{medio}}$ ou como $\overline{\mathbf{T}}$). É moi importante que tabules ben os resultados e os datos.
Deseguido tes un modelo de taboas de datos . Completa-as cos teus resultados :

Posición 2	
T_{10} (s)	T (s)
$T_{medio}=\overline{T}=$	

Posición 3	
T_{10} (s)	T (s)
$T_{medio}=\overline{T}=$	

De acordo co dito, para calcular o valor verdadeiro ou promedio obteremos a media aritmética dos valores medidos:

$$\overline{\mathbf{T}} = \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{n}}\sum_{\mathbf{i=1}}^{\mathbf{n}} \mathbf{T_i}$$

Determinación do erro absoluto (E_A)

Hai tres formas de determinar o erro absoluto.

1) Se só fixemos unha medida.

Entón tomaremos como erro absoluto a sensibilidade, **s**, do aparato de medida. Por exempro neste caso se o cronómetro apreza ate a centésima de segundo E_A=± 0,01 s

2) Se realizamos entre 2 e 10 medidas, é decir, si 2≤ n < 10 enton calcularemos a desviación media ou dispersión (D_m).

$$\mathbf{D_m} = \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{n}}\sum_{\mathbf{i=1}}^{\mathbf{n}} |\mathbf{T_i} - \overline{\mathbf{T}}|$$

Unha vez calculado, compararemos o resultado coa sensibilidade do instrumento, e tomaremos como E_A = máximo (s, D_m).

Este é o noso caso

Para calcular a desviación media ou dispersión, temos que calcular as desviación correspondentes a cada medida. A desviación de cada medida calculase coa diferenza:

$$\mathbf{T_i} - \overline{\mathbf{T}}$$

Observa que apareceran desviacións positivas ("medimos de máis") e desviacións negativas ("medimos de menos").

Conven observar que o que agardamos é que así sexa, pois iso indicará que o erro cometido é acidental. O contrario indicaría un erro sistemático.

A continuación tomaremos os valores absolutos das desviacións. A dispersión non é máis que a media aritmética de ditos valores.

Podes utilizar unha táboa como a seguinte na que as dúas primeiras columnas son as da táboa anterior.

Posición 2			
T_{10} (s)	T (s)	$T_i - \overline{T}$ (s)	$\lvert T_i - \overline{T}\rvert$ (s)
T_{medio}=		**D_m =**	

Posición 3			
T_{10} (s)	T (s)	$T_i - \overline{T}$ (s)	$\lvert T_i - \overline{T}\rvert$ (s)
T_{medio}=		**D_m =**	

Agora, comparas o valor da desviación media coa sensibilidade do cronómetro.

Sensibilidade: **s** **Dispersión:**

Tomaremos como erro absoluto, o maior valor.

Posición 2
Erro absoluto = E_A =

Posición 3
Erro absoluto = E_A =

Observación importante: o erro absoluto ten unidades. Neste caso a unidade é o segundo.

3) Se fixeramos máis de 10 medidas, calcularíamos o **erro cuadrático medio** $\boldsymbol{\sigma_m}$ mediante a expresión:

$$\boldsymbol{\sigma_m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(T_i - \overline{T})^2}{n(n-1)}}}$$

E agora, o erro absoluto, E_A= máximo (s, σ_m). **Este non é o noso caso**.

A **expresión correcta da medida**: **(valor medio $\pm$ erro absoluto) s**.

Posición 2	**Posición 3**
Medida correta = ( ) s	Medida correta = ( ) s

Determinación do erro relativo (E_R)

$$\mathbf{E_R = \frac{E_A}{Valor\ medio}}$$

Observa que é un número. Non ten unidades, é a razón entre o erro absoluto e o valor medio. Un “tanto por un”.

Moitas veces expresa-se en porcentaxe:

$$\% = \frac{\mathbf{E_A}}{\mathbf{Valor\ medio}} \cdot \mathbf{100}$$

Determinación das magnitudes carateristicas do movemento circular uniforme

Como xa temos determinado o valor do período (T), determinar as outras magnitudes é ben sinxelo:

a) Frecuencia (f)

Esta magnitude é o recíproco do período, é decir:

Utiliza as unidades axeitadas

$$f = \frac{1}{T} =$$

b) Velocidade angular (ω)

Utiliza as unidades axeitadas

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi}{T} = 2 \cdot \pi \cdot f =$$

c) Velocidade linear dun punto do bordo do disco.

Para elo busca no video o diámetro do disco e calcula o raio:

R= m

Calcula agora a velocidade: v= m/s

<u>Atividade 2: Determinación da constante elastica do resorte polo método estático (Lei de Hooke)</u>

<u>1.- Fundamento.</u>
A ación dunha forza sobre un resorte, provoca o seu alongamento ou acurtamento. Esta variación da lonxitude do resorte, está relacionada:

- coa forza aplicada
- coa natureza do resorte

Estes elementos, combínan-se na **Lei de Hooke**, na que para un resorte de lonxitude inicial en repouso $\mathbf{L_0}$, ao aplicar unha forza **F** prodúce-se unha elongación do resorte ate a acadar a lonxitude **L** .
Chamamos **elongación** á variación da lonxitude producida pola ación da forza:

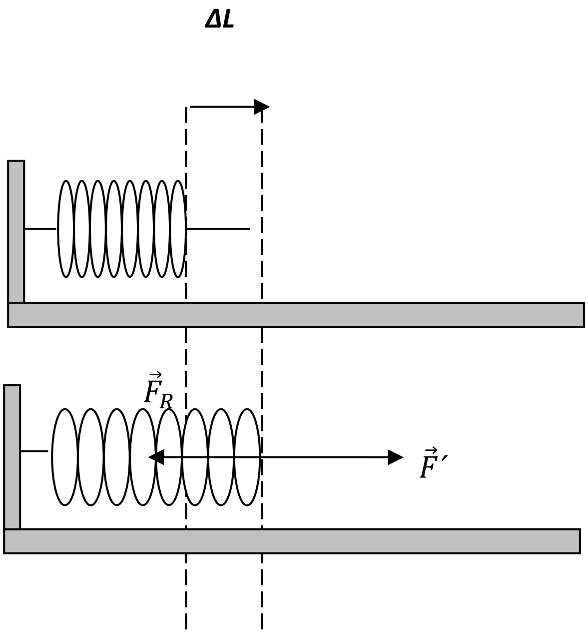
$$\Delta L = L - L_0$$

Nese caso, o resorte realiza unha forza recupéradora $\mathbf{F_R}$ relacionada coa elongación por medio dunha constante carateristica do resorte **K** segundo a expresión:

$$\vec{\mathbf{F}}_\mathbf{R} = -\mathbf{k} \cdot \Delta\mathbf{L}\,\vec{\mathbf{u}}_\mathbf{L} = -\mathbf{k} \cdot (\mathbf{L} - \mathbf{L_0})$$

Nesta expresión, $\vec{\mathbf{u}}_\mathbf{L}$ é un vector unitario no sentido da elongación.

A forza recuperadora, ten sentido contrario á elongación, velai a razón do signo menos.

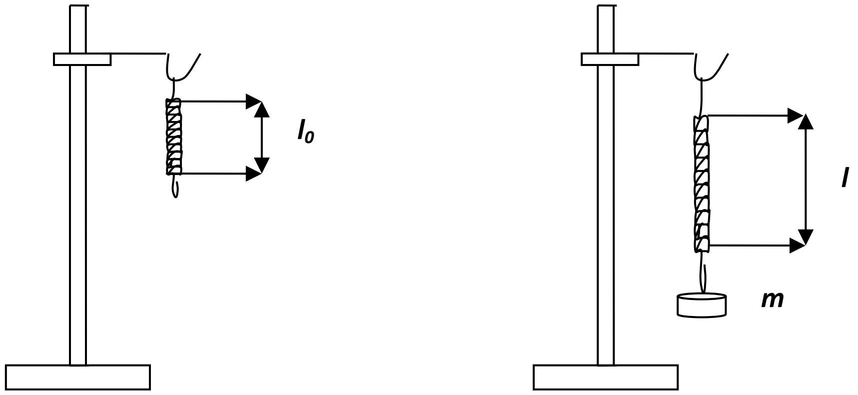


Por suposto, no equilibrio, acontece que: $\vec{\mathbf{F}}_\mathbf{R} = -\overrightarrow{\mathbf{F}'}$ e polo tanto as duas forzas son iguais.

O noso obxectivo vai ser determinar a constante elastica dun resorte, facendo uso da Lei de Hooke.

2.- Procedemento.

Para asegurar unha boa determinación da forza recuperadora, iremos pendurando masas distintas do resorte. Nesas condicións, a forza recuperadora do resorte será igual ao peso da masa.



Nesas condicións :

$$\vec{\mathbf{F}}_{\mathrm{R}} = \mathbf{k} \cdot (\mathbf{l} - \mathbf{l}_0)\,\vec{\mathbf{j}}$$

$$\vec{\mathbf{P}} = -\mathbf{m} \cdot \mathbf{g}\,\vec{\mathbf{j}}$$

E como estan en equilibrio: $\mathbf{k} \cdot (\mathbf{l} - \mathbf{l}_0) = \mathbf{m} \cdot \mathbf{g}$

Desta expresión podemos obter: $(\mathbf{l} - \mathbf{l}_0) = \frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{k}} \cdot \boldsymbol{m} \cdot \boldsymbol{g}$

E tamén: $\mathbf{K} = \frac{\mathbf{m.g}}{(\mathbf{l} - \mathbf{l}_0)}$

Esta expresión, establece unha relación de proporcionalidade entre a elongación e o peso

Agora constrúe unha taboa de valores, na que podas anotar as medidas. Tes un modelo deseguido,

Comeza por medir a lonxitude da mola en repouso. Será L_0 a lomxitude inicial:

L_0 = cm = m

Agora imos tabular resultados. Observa que terás que ter en conta a masa do suporte das pesas pois a masa total é a suma da masa do suporte a que compre sumar a masa das pesas que utilices.

É conveniente que o peses dende xa e anotes o resultado:

$M_{suporte}$ = g = kg

m (g)	**$(m+m_s)$ (g)**	**$(m+m_s)$ (kg)**	**$(m+m_s).g$ (N)**	**L(m)**	**$L-L_0$ (m)**	**K (N/m)**

Podes calcular o valor medio de K e logo determinar as desviacións e logo o erro absoluto e relativo. Xa sabes como.

Representación gráfica e calculo da pendente

Imos facer unha representación gráfica por medio da folla de calculo da elongación fronte ao peso de acordo coa ecuación:

$$\mathbf{l - l_0 = \frac{1}{K} \cdot mg}$$

Se representamos esta ecuación, debemos obter unha gráfica en liña reta, que pasa polo ponto (0, 0) e que ten de pendente o valor $\mathbf{\frac{1}{k}}$.

A propia folla de calculo permete obter de forma moi sinxela, a gráfica e a pendente xunto co parámetro R^2 que vai indicar a fiabilidade da representación.

En primeiro lugar imos seleccionar os datos e construir unha taboa.

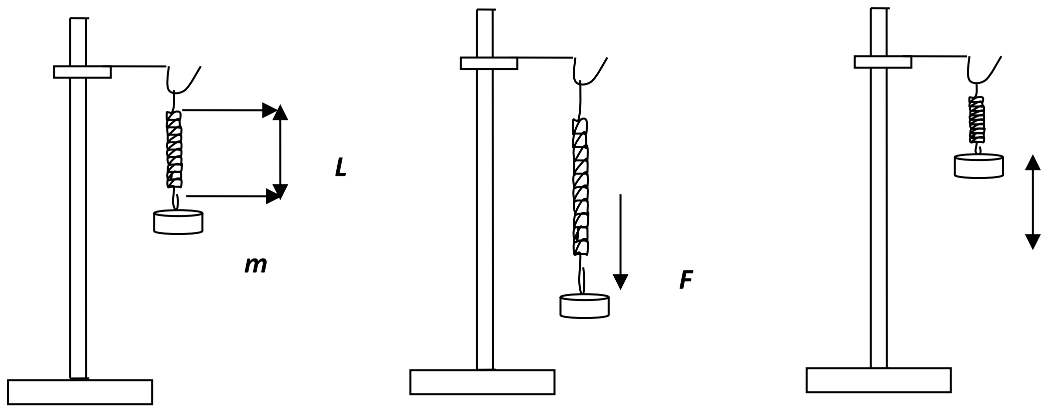
$(m + m_p) \cdot g$ (N)	**$L-L_0$ (m)**
0	0

Atividade 3: Determinación da constante elastica do resorte polo método dinámico.

1.- Fundamento.

Imos determinar a constante elastica dun resorte polo **método dinámico**, é decir, determinando o período de oscilación dunha masa pendurada do resorte.

Si penduramos unha certa masa dun resorte de lonxitude $\mathbf{L_0}$, este estíra-se ata unha lonxitude **L,** permanecendo en equilibrio ao igualarse o peso coa forza recuperadora do resorte.



Si agora tiramos do conxunto hacia abaixo e logo soltamos, inicia-se un movemento de oscilación, un **movemento harmónico simple**.

Apliquemos o que sabemos aos dous momentos:

- Estática: en función da lei de Hooke acontece que: $\vec{\mathbf{F}} = -\mathbf{k} \cdot \Delta\mathbf{y}\,\vec{\mathbf{j}} \quad (\mathbf{1})$
- Dinámica: o movemento harmónico simple, caracteríza-se por unha aceleración que ven dada por : $\vec{\mathbf{a}} = -\boldsymbol{\omega}^2 \cdot \Delta\mathbf{y}\,\vec{\mathbf{j}}$
- aplicando o 2º Principio da dinámica: $\vec{\mathbf{F}} = \mathbf{m} \cdot \vec{\mathbf{a}} = -\mathbf{m} \cdot \boldsymbol{\omega}^2 \cdot \Delta\mathbf{y}\,\vec{\mathbf{j}} \quad (\mathbf{2})$

E si igualamos as ecuacións (1) e (2) obtemos a expresión: $\mathbf{k} = \mathbf{m} \cdot \boldsymbol{\omega}^2 \quad (\mathbf{3})$

Nesta ecuación imos a introducir o período:

$$\boldsymbol{\omega} = \frac{\mathbf{2} \cdot \boldsymbol{\pi}}{\mathbf{T}} \quad \rightarrow \quad \boldsymbol{\omega}^2 = \frac{\mathbf{4} \cdot \boldsymbol{\pi}^2}{\mathbf{T}^2}$$

e si sustituímos na ecuación (3) obtemos:

$$\mathbf{k} = \mathbf{m} \cdot \frac{\mathbf{4} \cdot \boldsymbol{\pi}^2}{\mathbf{T}^2}$$

que si agora reordenamos: $\mathbf{T^2 = \frac{4\cdot\pi^2}{k}\cdot m} \quad \mathbf{(4)}$

Esta expresión, permite o calculo do período como lembrarás do curso pasado. Efetivamente:

$$\mathbf{T = 2\cdot\pi\sqrt{\frac{m}{k}}}$$

Evidentemente, nos utilizaremos a expresión **(4)** por canto que indica que o cadrado do período, é proporcional á masa:

$$\mathbf{T^2 = \frac{4\cdot\pi^2}{k}\cdot m}$$

Polo tanto, se representamos o cadrado dos períodos fronte ás masas empregadas, podemos obter unha gráfica en liña reta, da que a pendente coincidirá co termo $\mathbf{\frac{4\cdot\pi^2}{k}}$ permitindonos o calculo da constante do resorte.

2.- Procedemento.

Para elo, imos pendurar distintas masas; con cada unha delas, provocamos un movemento harmónico simple e determinamos o período de cada un.

Coma sempre, determinaremos en principio o tempo que tarda en realizar 10 oscilacións, e con cada masa faremos cinco medicións. Tomaremos como valor representativo, o valor medio e logo, dividindo por 10, teremos o período para cada caso.

A taboa a cubrir sería do tipo seguinte:

Masa (g)	Masa (kg)	1ª medida	2ª medida	3ª medida	4ª medida	5ª medida	T_{10} (s)	T (s)	T^2 (s^2)

3.- Realiza a determinación, utilizando unha folla de calculo.

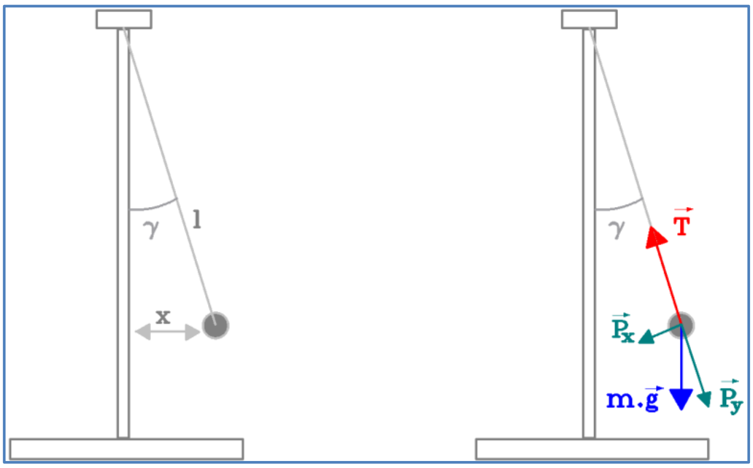
Atividade 4 : Determinación da intensidade do campo gravitatorio terrestre por medio dun péndulo.

1.- Fundamento.

Un péndulo simple, consiste básicamente, nunha esféra (unha masa pontual) pendurada dun ponto fixo, por medio dun fío inextensibel de masa desprezabel.

Cando desprazamos a masa da posición de equilibrio, esta oscila entre dous pontos extremos, pasando pola posición central.

Este movemento de vaiven, sempre que o ángulo que forma o fío coa dirección perpendicular, sexa inferior a 10^0, pode ser tratado como un movemento harmónico simple.



Como ves na figura , sobre a esfera atúan duas forzas, a **tensión** e o **peso**.

Podemos descompór o peso en duas componentes segundo eixes definidos tendo en conta a direción da tensión. Nesas codicións cumpre-se:

- No eixe **Y:** $\mathbf{P_y - T = m \cdot \frac{v^2}{R}}$ posto que no eixe **Y** non hai equilibrio, senon que existe unha aceleración normal que define o movemento en arco da esfera.

- No eixe **X**, nas condicións definidas podemos aceitar que a esfera realiza un movemento harmónico simple e polo tanto:

$$\mathbf{P_x = -m \cdot g \cdot sen\,\theta = -m \cdot \omega^2 \cdot x}$$

Sempre que o ángulo θ sexa inferior a 10^0, podemos asegurar ademais que:

$$\mathbf{sen\,\theta \cong \frac{x}{l}}$$

Polo tanto, a ecuación anterior toma a forma: $\mathbf{m \cdot g \cdot \frac{x}{l} = m \cdot \omega^2 \cdot x}$

E agora, simplificando e tendo en conta que $\boldsymbol{\omega} = \frac{2\cdot\pi}{T}$

$$g \cdot \frac{x}{l} = \frac{4 \cdot \pi^2}{T^2} \cdot x$$

E por fin:

$$T^2 = \frac{4 \cdot \pi^2}{g} \cdot l \quad (1)$$

Desta expresión **(1)** podemos obter a expresión que facilita o calculo do período do péndulo:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

Porén, nos imos facer uso da expresión **(1)** por canto nela podemos definir as distintas lonxitudes, medir o período en cada caso e por último determinar o valor da gravedade pois:

$$g = 4\pi^2 \cdot \frac{l}{T^2} \quad (2)$$

2.- Procedemento

Para determinar o valor da gravedade, imos medir os períodos correspondentes a oscilacións do péndulo con distintas lonxitudes. Para cada lonxitude, mediremos o período de 10 oscilacións (T_{10}) un mínimo de 5 veces, tomando como valor verdadeiro o valor medio correspondente.

Enfin, completaremos a seguinte táboa:

L (m)	1ª medida	2ª medida	3ª medida	4ª medida	5ª medida	T_{10} (s)	T (s)	T^2 (s^2)	g(N/kg)

Desta taboa podes extraer un valor medio para a gravedade que será o que tomaremos como valor verdadeiro:

g =

Para calcular o erro absoluto e o relativo, mide a desviación dos valores da táboa en relación co valor que tomaremos como canónico para a gravedade, 9,8 N/kg

Completa a táboa e calcula a desviación media, que neste caso será o erro absoluto.

g_i	$g_i - 9{,}8$	$\lvert g_i - 9{,}8 \rvert$

E_A = **E_R=**

Agora, na folla de calculo, imos obter a representación gráfica da ecuación **(1)**, é dicer:

$$\mathbf{T^2 = \frac{4\pi^2}{g} \cdot l}$$

Se representamos o cadrado dos períodos fronte ás lonxitudes, debemos obter unha liña reta que debe pasar pola orixe (0, 0) e de pendente:

$$\mathbf{a = \frac{4\pi^2}{g}}$$

E sabendo a pendente, poderemos calcular a gravedade.

Abre pois unha folla de calculo e comeza por preparar unha táboa que pode asemellarse á seguinte:

L (m)	T^2 (s^2)
0	0

E agora repasa os pasos para obter a gráfica, a liña de tendencia, a pendente e o parámetro de axuste R^2.

Cando remates, imprime o documento e pega-o a continuación. Recorda calcular o valor da gravedade por medio da pendente.

<u>Atividade 5 : Satélites terrestres e as súas órbitas</u>

<u>Obxectivos</u>

1. Aplicar as ecuacións básicas para determinar os parámetros orbitais dun satélite.
2. Coñecer os diferentes tipos de satélites terrestres en función da súa órbita.
3. Utilizar fontes de información para atopar os datos sobre algún dos satélites que orbitan a Terra
4. Coñecer a utilización dos diferentes tipos de satélites

<u>Fundamentos teóricos</u>

Hai 5 tipos de satélites terrestres que son os máis usados.

1.-LEO: Low Earth Orbit

Coñecida como *orbita baixa*, que é unha ampla rexión que se sitúa entre os 160 km e os 2000 km de altura. Como a velocidade é maior canto mais baixa sexa a órbita, os obxectos móvense a gran velocidade respecto da superficie terrestre. Como están "rozando" as capas exteriores da atmosfera terrestre, teñen un rápido decaemento orbital e precisan ser reposicionados con frecuencia para retornar á orbita correcta.

Neste grupo atópase a Estación Espacial Internacional, a maioría dos satélites meteorolóxicos ou de observación, e moitos satélites de comunicacións.

2.- MEO: Medium Earth Orbit

Os chamados de *órbita intermedia*, entre 2.000 e 36.000 Km de distancia da superficie terrestre, cun período orbital medio de varias horas. Usada por satélites de observación, defensa e posicionameento, como as redes de satélites de GPS e os satélites Glonass rusos ou os Galileo europeos.

Un tipo especial de órbita intermedia é a **órbita Molnya**, especialmente usada polos países próximos ao círculo polar ártico. Esta órbita é moi elíptica e moi inclinada, para ter alta visibilidade desde as zonas polares, permitindo aos países nórdicos establecer satélites de comunicacións en zonas onde os xeoestacionarios non poden chegar.

3.- GEO: Geosestationery Orbit

Probablemente sexa a órbita mais coñecida de todas: a *órbita xeoestacionaria*. Esta órbita ecuatorial ubicase a 35 786 km da superficie terrestre, cun período orbital de 23,93446 horas (coincidindo coa duración do día sideral) o que fai que os satélites situados nesta órbita parezan "inmóbiles" no espazo, ao rotar coa mesma velocidade angular que a terra. Esta órbita é aquela na que se sitúan todos os satélites que transmiten os sinais de internet, televisión, telefonía e datos ás distintas rexións do planeta.

4.- HEO: High Earth Orbit

Básicamente, son todas as *órbitas altas*, que se ubican mais aló das órbitas xeoestacionarias, a mais de 36.000 Km e con períodos orbitais maiores a 24 horas. Moitos deles son de uso militar.

5.- SSO: Sun Sincronous Orbit

A *órbita sincrónica solar*, é un caso particular de órbita polar, que permite que un obxecto situado nela, pase todos os días, sobre un determinado lugar, á mesma hora. É unha órbita empregada en observación e meteoroloxía.

Podes facer seguimento destes distintos tipos de órbitas coa simulación:

https://ajmas.github.io/ThingsInSpace/

Satélite	Apoxeo (km)	Perixeo (km)	Raio medio (a) (km)	Altitude (km)	Distancia ao centro (km)	Velocidade (km/s)	Velocidade perixeo (km/s)	Velocidade apoxeo (km/s)	Velocidade media da órbita (km/s)	Velocidade areolar perixeo (km^2/s)	Velocidade areolar apoxeo (km^2/s)	Periodo dato (min)	Periodo calc. (min)
GPS NAVSTAR 64													
Iridium 39													
GLONASS COSMOS 1652													
GALILEO 22													

1.- As columnas en fondo branco, enchense cos datos que obteñas da simulación

https://ajmas.github.io/ThingsInSpace/

2.- Para o calculo do raio medio:

$$\mathbf{R_M} = \frac{\mathbf{(apoxeo+raio\ da\ Terra)+(perixeo+raio\ da\ Terra)}}{\mathbf{2}}$$

3.- Para o calculo da distancia ao centro:

$$\mathbf{Distancia\ ao\ centro = Altitude + raio\ da\ Terra}$$

4.- Para o calculo da velocidade no perixeo e no apoxeo, temos en conta a conservación do momento angular que conduce a:

$$\mathbf{V_{Apoxeo}} = \frac{\mathbf{Velocidade \cdot Distancia\ ao\ centro}}{\mathbf{(Apoxeo+raio\ da\ Terra)}}$$

$$\mathbf{V_{Perixeo}} = \frac{\mathbf{Velocidade \cdot Distancia\ ao\ centro}}{\mathbf{(Perixeo+raio\ da\ Terra)}}$$

Igoalmente, para a Velocidade media na órbita:

$$\mathbf{V_{Media}} = \frac{\mathbf{Velocidade \cdot Distancia\ ao\ centro}}{\mathbf{Raio\ medio}}$$

5.- Para a velocidade areolar no apoxeo e no perixeo, teremos en conta que, a partir da conservación do momento angular, podemos obter para a velocidade areolar a expresión:

$$\mathbf{V_{areolar}} = \frac{\mathbf{dA}}{\mathbf{dt}} = \frac{\mathbf{v \cdot r}}{\mathbf{2}}$$

Polo tanto:

$$\mathbf{V_{areolar\ apoxeo}} = \frac{\mathbf{V_{apoxeo} \cdot R_{apoxeo}}}{\mathbf{2}}$$

$$\mathbf{V_{areolar\ perixeo}} = \frac{\mathbf{V_{perixeo} \cdot R_{perixeo}}}{\mathbf{2}}$$

6.- Para o calculo do período teremos en conta que para un satélite arredor da Terra, obtemos:

$$\frac{\mathbf{R_o^3}}{\mathbf{T_o^2}} = \frac{\mathbf{G \cdot M_{Terra}}}{\mathbf{4 \cdot \pi^2}}$$

Esta mesma expresión podemos aplica-la para o valor do raio medio, obtendo un valor aproximado para p período do satélite.

7.- Combinando os datos dos cinco satélites propostos, imos comprobar o cumplimento da 3ª Lei de Kepler e ademais calcular a masa da terra.

Satélite	Raio medio (a) (km)	Período dato (min)	R^3 (km^3)	T^2(min^2)
O3B PFM				
GOES 2				
CLUSTER II-FM 7				
NOAA 16 DEB				
VANGUARD 1				

Agora representas graficamente R^3 fronte a T^2 e , de acordo coa expresión:

$$R^3 = \frac{G \cdot M_{Terra}}{4 \cdot \pi^2} \cdot T^2$$

Debemos obter unha liña recta coa pendente indicada :

$$K = \frac{G \cdot M_{Terra}}{4 \cdot \pi^2}$$

Da que podes obter o valor da masa da Terra.

8.- Calcula o erro absoluto e relativo cometido na determinación da masa da Terra, tomando como valor de referencia $5{,}98.10^{24}$ kg.