



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA

Trabajo final

Estudio de la gravedad ficticia en las naves de las películas “Interstellar” y “2001:Odisea en el espacio”

Menendez; Valentina

Saba; Lautaro

valenmenendez.25@gmail.com

lautarosaba.ls@gmail.com

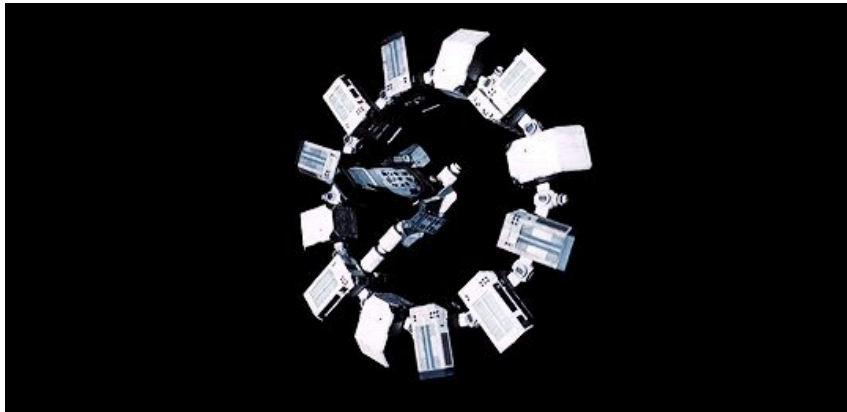
Física Experimental 1, Curso 2020

Departamento de Física, Facultad de Cs. Exactas (UNLP)

Resumen:

En este trabajo se estudia las gravedades ficticias observadas en las naves espaciales de dos películas: la estación Endurance de “Interestelar” y la estación espacial giratoria de “2001: Odisea en el espacio”. En particular, en una escena de la película Interestelar los personajes mencionan sentir $1g^1$ dentro de la estación, luego de analizar y concluir las observaciones también podremos afirmar o desmentir esto. Para lograrlo se debe medir el movimiento de rotación y las dimensiones de cada nave, para así determinar las gravedades ficticias que sentirían los tripulantes, conociendo donde se encuentran dentro de ellas y compararlas con las observadas en cada película. En consecuencia surge la necesidad de encontrar un método experimental para realizar las mediciones. para ello se compararon entre sí dos procedimientos diferentes y se concluyó cual es el más preciso. Así mismo, también se compararon las velocidades angulares de las mismas naves en diferentes escenas para verificar que la gravedad ficticia que sentían no cambiaba con el tiempo.

Las gravedad ficticia obtenida para la estación Endurance es $a = (7 \pm 1) \frac{m}{s^2}$, la cual se mantiene constante durante toda la película. Para la película Odisea en el espacio se concluyó que la gravedad ficticia varía en diferentes escenas.



.la estación endurance de “Interestelar”



.la estación espacial giratoria de “2001: Odisea en el espacio”

¹ En la Tierra, la aceleración de la gravedad es de $(9.796 \pm 0.004) \text{ m/s}^2$ y la función de la gravedad ficticia es es mantener a los tripulantes de pie sobre la nave.

Una aceleración de $1g$ es generalmente considerado como la gravedad estándar, que es de $9,80665 \text{ m/s}^2$. Tomada de referencia como la que se siente en la tierra.

Introducción:

En las películas de ciencias ficción donde aparecen naves espaciales, se puede observar cómo se desplazan en el espacio. Muchas pretenden utilizar el movimiento rotatorio de la nave para generar una gravedad ficticia, con el fin mantener a los tripulantes como si estuvieran en la tierra. En este trabajo se estudia las gravedades ficticias observadas en las naves espaciales de dos películas: la estación Endurance de “Interestelar” y la estación espacial giratoria de “2001: Odisea en el espacio”. Lo que lleva a preguntarse:

¿Qué gravedad ficticia tienen?

¿Son las que dicen tener?

¿Cambian a lo largo del metraje?

En particular, en una escena de la película Interestelar los personajes mencionan sentir 1g, dentro de la estación. Luego de concluir cuáles son las gravedades ficticias que sienten los tripulantes en cada nave se podrá comparar con la que nos dice la película.

Para lograr contestar estas preguntas hace falta realizar las correspondientes mediciones, que nos entreguen los valores de las velocidades angulares que describen el movimiento rotatorio de cada nave y las dimensiones de la misma, utilizando un modelo que relaciona la velocidad angular “ ω ” y la distancia al eje de rotación “R” para así calcular el valor de la aceleración centrípeta donde se encuentran los tripulantes (la gravedad ficticia que sentirían). Para ello, se estudiaron en cada nave: Las dimensiones, el diámetro (D) para hallar el valor del radio (R). Para eso, se tomaron escenas donde se pueda comparar objetos de dimensiones conocidas con respecto a la nave para medir su diámetro de forma indirecta. Para esto se propusieron dos métodos y luego se compararon para concluir cual nos otorga una medida más precisa. Y la velocidad angular, para ellos, se utilizan capturas de escenas donde se ve rotar la nave para medir cuánto tarda en concretar media vuelta.

Procedimiento Experimental:

Para medir el movimiento de rotación y la aceleración centrípeta se deben conocer las dimensiones de cada nave, que incluye medir el radio (R) y la velocidad angular (ω) de ambas naves; “La Estación Endurance” de Interestelar y la “Estación Espacial Giratoria” de 2001: Odisea en el espacio.

Software utilizado:

Para determinar las dimensiones se utilizó el programa Adobe Photoshop para la medición de distancias con la herramienta *regla* y la visualización de capturas de pantalla. Para las medidas de tiempo SMPlayer para el registro del tiempo transcurrido de la película en cada fotograma

Medición de las dimensiones de las naves:

Para conocer las dimensiones de las naves se utilizaron dos métodos basados en la medición y comparación de distancias. En todos los casos se tomó de referencia un objeto del cual se conocían sus dimensiones y se lo comparó con el objeto a investigar. Los métodos utilizados son:

Medición de las dimensiones de las naves:

Para conocer las dimensiones de las naves se utilizaron dos métodos basados en la medición y comparación de distancias. En todos los casos se tomó de referencia un objeto del cual se conocían sus dimensiones y se lo comparó con el objeto a investigar. Los métodos utilizados son:

Método 1: consiste en medir con una regla graduada en centímetros sobre la pantalla, las longitudes a comparar. Si bien la incerteza es de 0.05cm, se optó por utilizar 0.2cm

Método 2: se utiliza un software llamado photoshop que es capaz de contar la cantidad de pixeles entre un punto y otro de la imagen. En esta herramienta la incerteza es de 0.01 y se utilizó 0.05

Se utilizaron incertezas más grandes que la de los instrumentos ya que no se puede asegurar dónde comienza y termina por ejemplo la altura de la actriz. Las relaciones y las fórmulas utilizadas en cada magnitud para llegar a los resultados están en la planilla de cálculos.

Medidas para La Nave Endurance en la película "Interestelar":

Se utilizaron ambos métodos para medir distancias y luego se compararon en la tabla 1. La estación Endurance lleva acoplada otra nave de apoyo, la cual es utilizada por los tripulantes para realizar viajes de exploración.

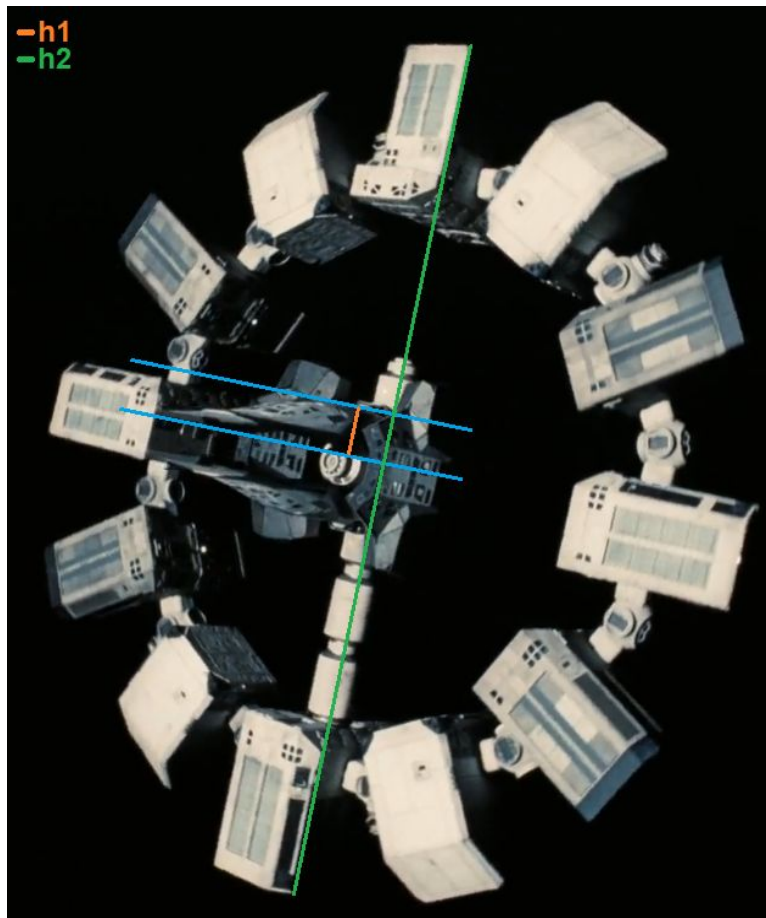
Para medir longitudes se tomó de referencia una escena donde la actriz Anne Jacqueline Hathaway está saliendo de la nave de apoyo, conociendo que su altura L es de 1,73 m (Ver imagen 1). Se tomó la captura de dicho momento en la película y se comparó cuántas veces L_1 (la altura de la actriz en la imagen) entra en la altura de la nave de apoyo L_2 . Se utiliza una línea secundaria azul perpendicular a L_1 y a L_2 , como extensión del punto más alto de la nave para saber hasta dónde debe llegar el extremo superior de L_2 .

En la imagen 2 se puede notar que la línea naranja h_1 representa la misma distancia que L_2 en la imagen 1, ya que las dos son la altura de la nave de apoyo. Para hallar el diámetro de la nave endurance se comparó h_1 (que ahora es una distancia conocida) con h_2 (el diámetro de la Estación Endurance), ver imagen 2. puede verse también que las líneas azules se utilizaron para saber hasta donde debe medirse h_1 . Por último se divide el diámetro por 2 para conocer el radio (la distancia de los tripulantes al eje de rotación) que usamos para conocer la aceleración centrípeta.

Película: Interestelar



.Imagen 1: Captura con la que se introduce una longitud conocida de referencia para posteriores medidas y se determinó la altura de la nave de apoyo.



.Imagen 2: Captura con la que se determinan el diámetro de la estación endurance. Donde es comparada con la altura de la nave de apoyo

Medidas en la estación espacial giratoria de "2001: Odisea en el espacio":

Al haber realizado una comparación de métodos en la tabla 1 se optó por utilizar el método más preciso, el método 2.

Se tomó como referencia la medida promedio de un hombre adulto ya que no se podía identificar al actor y se lo comparó con la altura de la abertura en la imagen 3, en este caso la incerteza será mayor que en la película anterior porque en esta se desconoce la altura del actor. Luego, en la imagen 4 puede verse recuadrado en celeste que esa abertura corresponde a la de la imagen 3. Con esta vista desde el espacio se midió cuántas veces entra la altura de la abertura en el diámetro de la estación.

Con estas dos medidas obtenemos las dos distancias al eje de rotación "C" en las cuales hay pasajeros sintiendo gravedad ficticia:

- el radio mínimo " R_m " como la mitad de la altura medida.
- el radio máximo " R_M " como la mitad del diámetro de la estación.

Película: 2001: Odisea en el espacio



.imagen 3: captura del centro de la nave visto desde adentro, se utiliza para medir las dimensiones de la nave con respecto a una de las personas ahí paradas. También se calculó la gravedad ficticia que debían sentir esas personas

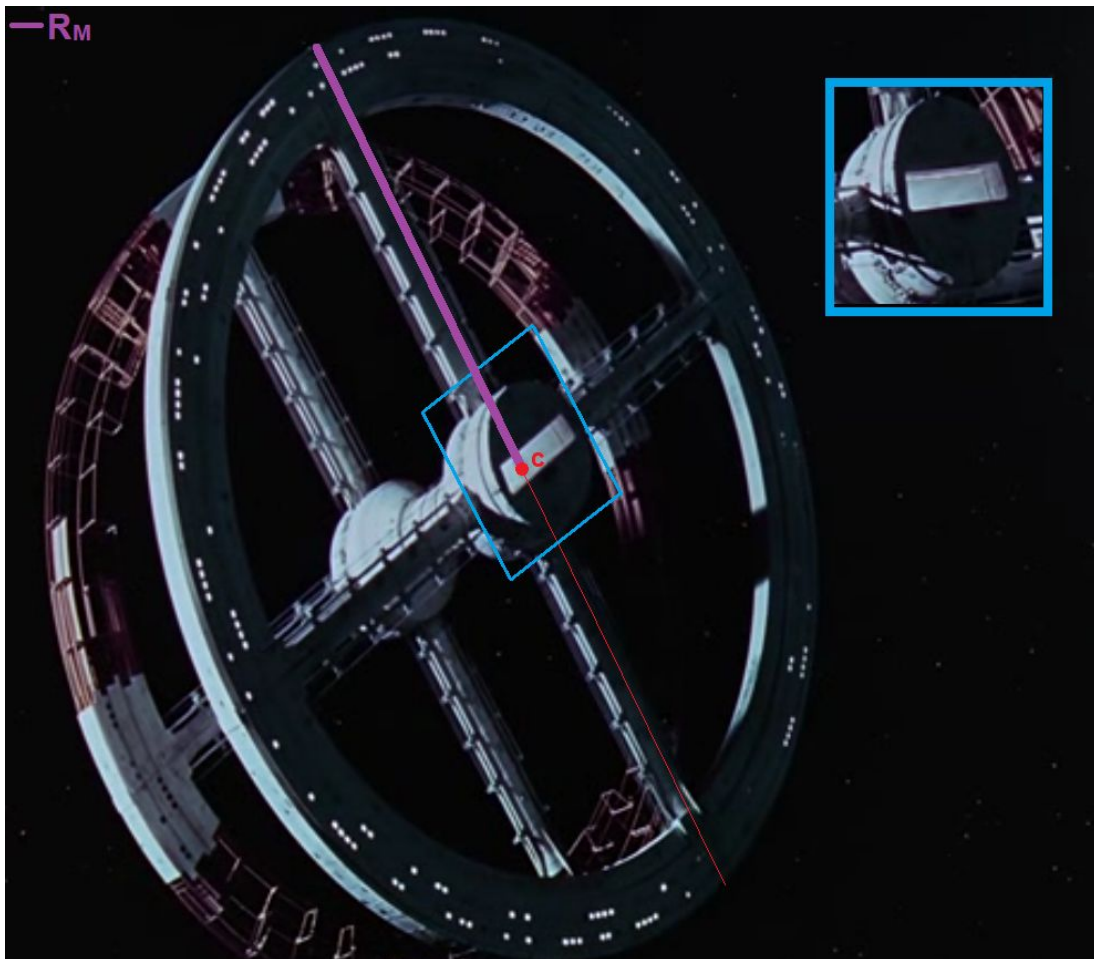


Imagen 4: captura de la nave desde afuera. Se utiliza como referente para medir el radio total y su velocidad angular. El recuadro azul es la imagen 3 vista desde afuera.

Medición de la velocidad angular de las naves

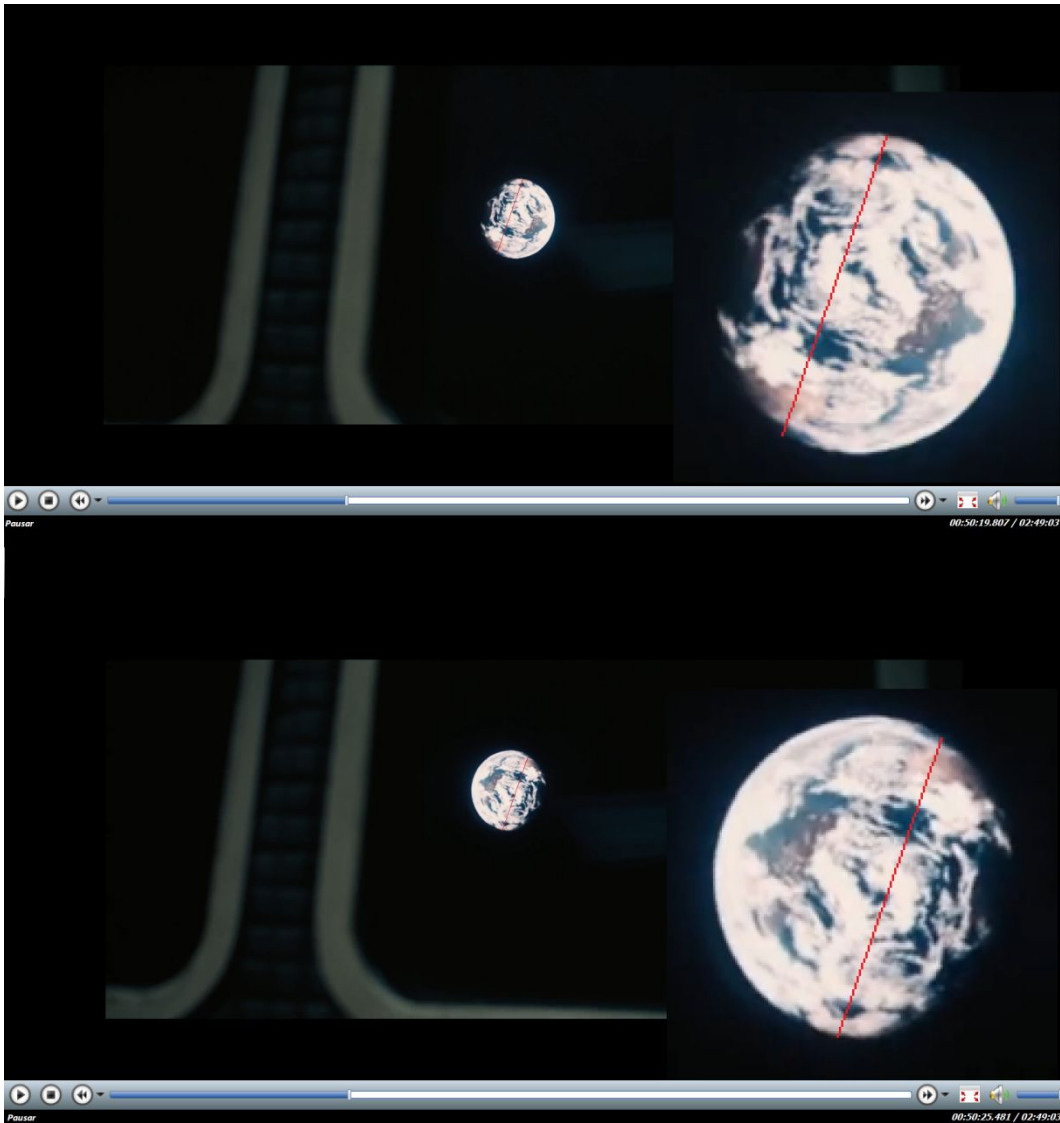
Para tomar el tiempo correspondiente a cada captura se usó el reloj del curso de la película graduada en centésimas de segundo. Se registró el momento de la película en el que la nave se vea rotando, luego se capturó un segundo momento en el que la nave da media vuelta con respecto a la primer captura.

Para asignarle una incerteza a cada medida se toman el tiempo de la imagen anterior y la siguiente, de esta manera se sabe que entre esos dos fotogramas la nave dio justo media vuelta. Luego se restaron estas dos medidas, esto para saber cuánto tiempo tarda en concretar medio periodo.

Para asegurarse de que la nave dio justo media vuelta, se usaron las capturas de ambos momentos y se trazó una línea entre dos puntos de referencia, como el objeto está girando, al dar media vuelta las líneas en los dos fotogramas deben quedar paralelas.

Un ejemplo de esto es lo que se hizo en una escena de la película Interestelar. En la imagen 5 puede verse que el planeta Tierra visto desde la nave da media vuelta, en ella está dibujada la línea de referencia.

De la misma forma que en interestelar, para la película 2001 Odisea en el espacio, se tomaron dos capturas de la nave giratoria, entre las que completó medio periodo.



.Imagen 5. Capturas con las que se miden los tiempos involucrados en la rotación, usando como referencia el planeta tierra visto desde la nave.

Para calcular la velocidad angular se utilizaron las siguientes relaciones:

Periodo: representa el tiempo que tarda en dar una vuelta

$$T = (t_2 - t_1) 2$$

donde t_1 es el tiempo en la película en el que la nave se ve rotar y t_2 es el tiempo en la película en el que la nave da media vuelta con respecto a t_1

velocidad angular: describe la cantidad de ángulo “barrido” por segundo en el movimiento de rotación

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

Medición de la gravedad ficticia

La gravedad ficticia se determinó con el modelo: $a = R\omega^2$.

Un objeto describiendo un movimiento circular uniforme siente una aceleración centrípeta a con respecto a la velocidad angular con la que gira y la distancia al eje de rotación. En este caso, las naves son circulares y el eje se encuentra en su centro, por lo tanto solo debemos conocer el radio R y la velocidad angular ω .

Propagación de incertidumbres:

Para determinar la incertidumbre de las magnitudes determinadas en forma indirecta se hizo propagación de incertezas (ver Apéndice).

Resultados:

Comparación de los métodos para medir distancias

En la tabla 1 se comparan los resultados de los métodos utilizados para medir el diámetro D y el radio R de la estación Endurance. luego se calculó la aceleración centrípeta con la velocidad angular medida $(0.57 \pm 0.05) \frac{1}{s}$ para los radios R obtenidos:

Método 1	Método 2
$l_1 = (20.0 \pm 0.2) \text{ cm}$	$l_1 = (313.5 \pm 0.05)$
$l_2 = (24.7 \pm 0.2) \text{ cm}$	$l_2 = (388.00 \pm 0.05)$
$h_1 = (2.5 \pm 0.2) \text{ cm}$	$h_1 = (38.6 \pm 0.05)$
$h_2 = (47.4 \pm 0.2) \text{ cm}$	$h_2 = (728.6 \pm 0.05)$
$D = (41 \pm 3) \text{ m}$	$D = (40.3 \pm 0.1) \text{ m}$
$R = (21 \pm 2) \text{ m}$ error relativo: 0.0952	$R = (20.20 \pm 0.05) \text{ m}$ error relativo: 0.00248
$a = (7 \pm 1) \frac{m}{s^2}$	$a = (7 \pm 1) \frac{m}{s^2}$

Tabla 1. Mediciones realizadas para conocer las dimensiones de la nave Endurance con ambos métodos

Se observa que al aplicar el método 1 los resultados obtenidos son menos precisos y tienen mayor error relativo que los datos obtenidos por medio del método 2. Por lo tanto, se determina que el método 2 es el más conveniente para hallar el radio de la nave de forma más precisa.

Resultados de la película Interestelar:

Las velocidades angulares medidas en diferentes escenas, desde dentro y fuera en el espacio son todas iguales a:

$$\omega = (0.57 \pm 0.05) \frac{1}{s}$$

al no variar la velocidad angular, la aceleración centrípeta se mantiene constante. Tomando de referencia la parte más alejada del centro, que es donde se encuentran los tripulantes, a una distancia del eje de rotación medida con el segundo método de

$$R = (20.20 \pm 0.05) m$$

Se concluye que la gravedad ficticia que sienten los tripulantes es:

$$a = (7 \pm 1) \frac{m}{s^2}$$

Resultados de la película 2001 odisea en el espacio:

Para esta película se midieron dos escenas que arrojan resultados muy diferentes. En la primer escena, la velocidad angular medida entre los tiempos: 20:52.459 y 21:19.528 es $\omega_1 = (0.116 \pm 0.002) \frac{1}{s}$, para la segunda escena, la velocidad angular medida entre los tiempos: 23.15.477 y 23.34.704 es $\omega_2 = (0.165 \pm 0.004) \frac{1}{s}$

En la tabla 2 se comparan las aceleraciones obtenidas para ambas velocidades angulares en dos puntos diferentes de la nave. Uno en la parte más alejada del centro, que representa el radio máximo de la estación "RM" (ver imagen 4), donde se encuentran los pasajeros y la otra parte de la nave es la más cercana al centro de la estación, que representa el radio mínimo en el que puede haber personas "Rm", en la imagen 3 pueden verse estas personas. se midieron con el método 2 la distancia Rm desde el centro C: $(9.7 \pm 0.2) m$ (imagen 3) y la distancia RM desde el centro C: $(291 \pm 5) m$ (imagen 4)

aceleración en vel.angular	parte más alejada del centro	parte más cercana al centro
$\omega_1 = (0.116 \pm 0.002) \frac{1}{s}$	$(3.9 \pm 0.2) \frac{m}{s^2}$	$(0.131 \pm 0.005) \frac{m}{s^2}$
$\omega_2 = (0.165 \pm 0.004) \frac{1}{s}$	$(7.9 \pm 0.4) \frac{m}{s^2}$	$(0.26 \pm 0.01) \frac{m}{s^2}$

Tabla 2. aceleraciones obtenidas para ambas velocidades angulares con respecto a dos partes de la nave donde hay tripulantes

Puede verse en la tabla 2 que las aceleraciones obtenidos para ω_1 y ω_2 difieren, de hecho los resultados obtenidos con ω_2 son más del doble que con ω_1 .

Cabe destacar que si bien la aceleración obtenida con ambas velocidades angulares para la parte más cercana al centro es diferente, puede verse que ambas son menores a $1g \approx 35$

Análisis de las gravedades ficticias obtenidas

Si bien en la película interestelar los tripulantes comentaron sentir “1g” de gravedad ficticia, lo cual difiere del resultado obtenido, la aceleración medida de $(7 \pm 1) \frac{m}{s^2}$ es suficiente para mantener a las personas comportándose como si estuvieran en la Tierra. Otro dato a favor es que se mantiene constante.

A diferencia de “Interestelar”, la película “2001 odisea en el espacio” varía la velocidad angular de la estación sin razón aparente y además muestra a algunas personas en el centro de la nave comportándose normalmente cuando en realidad sienten una gravedad ficticia casi despreciable.

Conclusión:

Los aspectos físicos relacionados al movimiento, dimensiones y gravedades ficticias estudiados en las naves espaciales de las dos películas: la estación endurance de “Interestelar” y la estación espacial giratoria de “2001: Odisea en el espacio” demuestran que la gravedad ficticia generada por el movimiento rotatorio del Endurance en Interstellar es de $(7\pm 1) \frac{m}{s^2}$, que desmiente lo dicho de “sentir 1g dentro de la nave”, la cual se mantiene constante dentro de las escenas estudiadas, esta aceleración es suficiente para mantener a las personas caminando con la libertad que se observa en la película.

En cambio, las rotaciones estudiadas en la estación espacial de la película “2001: Odisea en el espacio” varían en las distintas escenas. También cabe destacar que las escenas donde fueron medidas las velocidades angulares difieren de unos pocos minutos, en ese contexto no tiene sentido el cambio de la misma en la estación. Por lo tanto se miden aceleraciones muy diferentes en ambos casos. Principalmente el radio máximo de la nave se obtuvo una aceleración centrípeta de $(3.9\pm 0.2) \frac{m}{s^2}$ y $(7.9\pm 0.4) \frac{m}{s^2}$. Por otro lado, en el radio mínimo se obtuvo una aceleración centrípeta de $(0.131\pm 0.005) \frac{m}{s^2}$ y $(0.26\pm 0.01) \frac{m}{s^2}$, que si bien se diferencian, ambas son menores a $1g\div 35$. Al ser tan pequeñas no deberían poder mantener a los tripulantes sobre la superficie de la nave, a diferencia de lo que se observa en la película.

El hecho de que en la película interestelar las velocidades angulares en diferentes escenas se mantenga constante más allá de la incerteza en la medida es consecuencia de lo preciso que resultó ser el método utilizado.

Por otro lado también se concluye que el método 2 que utiliza el programa “photoshop” para medir distancias, entrega datos más precisos que el método 1, al arrojar resultados con menor incerteza relativa.

Anexos

Planilla de expresiones:

Periodo

$$T = (t_2 - t_1) 2$$

velocidad angular

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

Alturas de las naves, la unidad es de metros

$$h = \left(\frac{h_2}{h_1}\right) L$$

Diámetro de las naves, la unidad está en metros

$$D = \left(\frac{h_2}{h_1}\right) h$$

Radio de las naves, su unidad está en metros

$$R = \frac{D}{2}$$

Aceleración centrípeta

$$a = R\omega^2$$

Incertezas:

Para conocer las incertezas de las magnitudes medidas directamente se utilizó el siguiente modelo:

si se quisiera conocer una magnitud "y" que se función de n medidas x_1, x_2, \dots, x_n de las que se conoce su incerteza $\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_n$

$$y = y(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

La incerteza de la magnitud medida indirectamente se determina con la siguiente expresión:

$$\Delta y = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial y}{\partial x_i} \Delta x_i\right)^2}$$

un ejemplo de la propagación de incertezas es la de la aceleración centrípeta

$$\Delta a = a \sqrt{\left(\frac{\Delta R}{R}\right)^2 + \left(2 \cdot \frac{\Delta \omega}{\omega}\right)^2}$$

² Física re-Creativa, de S Gil y E Rodríguez, Capítulo 1

Planilla de datos:

(1) Interstellar:

escena 1

Método 1 (se hicieron dos medidas)

t1=entre(49:03.523 y 49:03.606)

t2=entre(49:09.155 y 49:09.237)

$$t_1 = (3.54 \pm 0.04) s$$

$$t_2 = (9.19 \pm 0.04) s$$

$$l_1 = (12.2 \pm 0.1) cm \quad l_1 = (20.0 \pm 0.2) cm$$

$$l_2 = (14.9 \pm 0.1) cm \quad l_2 = (24.7 \pm 0.2) cm$$

$$L = (1.73 \pm 0.005) m$$

$$h_1 = (2.5 \pm 0.2) cm$$

$$h_2 = (47.4 \pm 0.2) cm$$

$$H = (2.14 \pm 0.03) m$$

$$D = (41 \pm 3) m$$

$$R = (21 \pm 2) m$$

$$T = (11 \pm 1) s$$

$$\omega = (0.57 \pm 0.05) \frac{1}{s}$$

$$a = (7 \pm 1) \frac{m}{s^2}$$

escena 1

Método 2

t1=entre(49:03.523 y 49:03.606)

t2=entre(49:09.155 y 49:09.237)

$$t_1 = (3.56 \pm 0.04) s = (3.523, 3.606) s$$

$$t_2 = (9.19 \pm 0.04) s$$

$$l_1 = (313.50 \pm 0.05)$$

$$l_2 = (388.00 \pm 0.05)$$

$$L = (1.73 \pm 0.005) m$$

$$h_1 = (38.62 \pm 0.05)$$

$$h_2 = (728.64 \pm 0.05)$$

$$H = (2.141 \pm 0.006) m$$

$$D = (40.4 \pm 0.1) m$$

$$R = (20.20 \pm 0.05) m$$

$$T = (11 \pm 1) s$$

$$\omega = (0.57 \pm 0.05) \frac{1}{s}$$

$$a = (7 \pm 1) \frac{m}{s^2}$$

escena 2

t1= entre(50:19.766 y 50:19.849) t1=

t2=entre(50:25.438 y 50:25.523) t2=

$$t_1 = (19.81 \pm 0.04) s$$

$$t_2 = (25.5 \pm 0.04) s$$

$$T = (11 \pm 1) s$$

$$\omega = (0.57 \pm 0.05) \frac{1}{s}$$

escena 3

t1=entre(53:29.331 y53:29.414) t1=
t2=entre(53:40.384 y 53:40.467) t2=
en este caso dio una vuelta entera.

$$t_1 = (29.37 \pm 0.04) s$$

$$t_2 = (40.42 \pm 0.04) s$$

$$T = (11 \pm 1) s$$

$$\omega = (0.57 \pm 0.05) \frac{1}{s}$$

Odisea en el espacio

primer escena

t1= entre (20:52.459 y 20:52.542)

t2= entre (21:19.444 y 21:19.528)

$$t_1 = (52.5 \pm 0.04) s$$

$$t_2 = (79.48 \pm 0.04) s$$

$$l_1 = (66.60 \pm 0.05)$$

$$l_2 = (740.80 \pm 0.05)$$

$$L = (1.75 \pm 0.03) m$$

$$h_1 = (28.52 \pm 0.05)$$

$$h_2 = (843.36 \pm 0.05)$$

$$H = (19.46 \pm 0.3) m$$

$$D = (582 \pm 9) m$$

$$R = (291 \pm 5) m$$

$$T = (54 \pm 1) s$$

$$\omega = (0.116 \pm 0.002) \frac{1}{s}$$

$$a = (3.9 \pm 0.2) \frac{m}{s^2}$$

aceleración en imagen 3

$$\omega = (0.116 \pm 0.002) \frac{1}{s}$$

$$H = (19.46 \pm 0.3) m$$

$$R = (9.7 \pm 0.2) m$$

$$a = (0.131 \pm 0.005) \frac{m}{s^2}$$

segunda escena

t1= entre (23.34.704 y 23.34.621)

t2= entre (23.15.560 y 23.15.477)

$$t1 = (15.52 \pm 0.04) s$$

$$t2 = (34.66 \pm 0.04) s$$

$$T = (38 \pm 1) s$$

$$\omega = (0.165 \pm 0.004) \frac{1}{s}$$

$$a = (7.9 \pm 0.4) \frac{m}{s^2}$$

aceleración en imagen 3

$$\omega = (0.165 \pm 0.004) \frac{1}{s}$$

$$H = (19.46 \pm 0.3) m$$

$$R = (9.7 \pm 0.2) m$$

$$a = (0.26 \pm 0.01) \frac{m}{s^2}$$

Referencias:*

<http://users.exa.unicen.edu.ar/catedras/fisexp1/files/2008-pendulosimple.pdf>

https://es.wikipedia.org/wiki/Fuerza_g#:~:text=La%20fuerza%20g%20para%20un.Tierra%20al%20nivel%20del%20mar.