

Newton, el Principito, y el asteroide B-612

EDUCATIO PHYSICORVM



ISSN 1870-9095

Jorge Pinochet

*Departamento de Física, Facultad de Ciencias Básicas,
Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación,
Av. José Pedro Alessandri 774, Nuñoa, Santiago, Chile.*

E-mail: jorge.pinochet@umce.cl

(Recibido el 7 de octubre de 2022, aceptado el 25 de febrero de 2022)

Resumen

La literatura de fantasía y ciencia ficción puede ser un excelente recurso pedagógico para enseñar física en la escuela. La novela *El Principito*, de Antoine de Saint-Exupéry, es un ejemplo de ello. El principito proviene del asteroide B-612, un pequeño mundo apenas más grande que una casa. Un mundo tan singular suscita muchas preguntas interesantes que pueden responderse mediante sencillos cálculos basados en la ley de gravitación universal de Newton. El objetivo de este trabajo es ofrecer un material educativo lúdico y novedoso, basado en las aventuras del principito en el asteroide B-612.

Palabras clave: Ley de gravitación universal de Newton, el principito, estudiantes de secundaria.

Abstract

Fantasy and science fiction literature can be an excellent pedagogical resource for teaching physics in school. The novella *The Little Prince*, by Antoine de Saint-Exupéry, is an example of this. The little prince comes from asteroid B-612, a small world barely bigger than a house. Such a unique world raises many interesting questions that can be answered by simple calculations based on Newton's law of universal gravitation. The objective of this work is to offer a playful and novel educational material, based on the adventures of the little prince on the asteroid B-612.

Keywords: Newton's law of universal gravitation, the little prince, secondary students.

I. INTRODUCCIÓN

La literatura de fantasía y ciencia ficción puede ser un poderoso recurso pedagógico para enseñar física a nivel escolar, ya que proporciona un contexto lúdico y novedoso donde los estudiantes pueden aplicar las leyes físicas, poniendo a prueba la viabilidad científica de los relatos. La novela infantil *El Principito*, de Antoine de Saint-Exupéry, es un buen ejemplo de ello [1].

El principito es un niño aventurero y soñador que proviene del asteroide B-612, un pequeño mundo esférico apenas más grande que una casa. Un mundo tan singular suscita muchas preguntas interesantes que podemos responder usando física elemental, y en particular, la ley de gravitación universal de Newton. La palabra “universal” significa que podemos emplear esta ley para estudiar cualquier cuerpo gravitante, real o imaginario. Aunque el asteroide B-612 surgió de la imaginación de de Saint-Exupéry, la física de Newton puede revelarnos si tiene cabida en el universo real. Anticipándonos a lo que viene, descubriremos que el mundo del principito tiene escasas probabilidades de existir. Sin embargo, ello no resta mérito a la obra de Saint-Exupéry. Al contrario, la conclusión fundamental a la que llegaremos es que B-612 pertenece al reino de la imaginación, y es ahí donde debe permanecer, para que las hazañas del principito sigan divirtiendo e inspirando a jóvenes y niños.

El artículo ha sido desarrollado en base a un conjunto de preguntas con sus correspondientes respuestas. La mayoría de las preguntas pueden responderse mediante cálculos simples, basados en la ley de gravitación universal. Estas preguntas y respuestas pueden convertirse fácilmente en una actividad para realizar en aula, en el marco de una clase de astronomía y gravitación. Por lo tanto, confió en que cada profesor de física encontrará la manera más adecuada de abordar este material con sus estudiantes. Cada sección plantea una pregunta distinta: ¿Cuál es la masa de B-612? ¿Cuál es su densidad? ¿Cuánto vale la rapidez de escape desde su superficie? ¿Puede tener una atmosfera? ¿Cuánto valen las fuerzas de marea en su superficie? Después nos planteamos una pregunta que solo puede ser respondida en base a la evidencia astronómica reciente: ¿Existe algún asteroide similar a B-612 en nuestro sistema solar? Finalmente nos preguntamos: ¿Es posible que B-612 sea un mundo habitable? El artículo finaliza con unas breves reflexiones.

II. UNA PRIMERA MIRADA AL ASTEROIDE B 612

Según cuenta de Saint-Exupéry, el asteroide B-612 es apenas más grande que una casa. Tiene variedades de plantas, y tres pequeños volcanes, uno de los cuales se encuentra inactivo.

Jorge Pinochet

La Fig. 1, tomada de una de las tantas ediciones de El Principito, nos muestra el asteroide B-612. ¿Qué características físicas del asteroide podemos inferir de la figura? Aparte del hecho evidente de que es esférico, si suponemos que el Principito tiene una estatura de alrededor de $1.5m$, una cifra razonable tratándose de un niño con el vocabulario y madurez que describe de Saint-Exupéry, podemos suponer que el radio de B-612 también es de aproximadamente $1.5m$.



FIGURA 1. El principito en el asteroide B-612.

Si B-612 fuese un asteroide típico, como los que encontramos en nuestro sistema solar, el menor movimiento despegaría al principito de su superficie y lo arrojaría muy lejos, para nunca más volver a caer sobre el asteroide. Por lo tanto, para que exista alguna posibilidad de que el principito pueda caminar sobre su pequeño mundo sin tener esta clase de inconvenientes, y resguardar al mismo tiempo que el pequeño aventurero experimente condiciones físicas no muy alejadas de las que existen en la Tierra, podemos suponer que la aceleración de gravedad g_A sobre el asteroide es del orden de la que hay en nuestro planeta, $10m \cdot s^{-2}$.

En síntesis, podemos comenzar nuestro análisis de B-612 asumiendo que se trata de un asteroide esférico de $1.5m$ de radio, y cuya aceleración de gravedad es de $10m \cdot s^{-2}$. Como veremos en las siguientes secciones, a partir de estos simples supuestos, podemos extraer una gran cantidad de información que quizá sorprenderá a muchos.

III. ¿CUÁL ES LA MASA DE B-612?

Si en adelante designamos como M_A a la masa del asteroide, y como m_P a la masa del principito, a partir de la ley de gravitación universal podemos escribir la expresión para la magnitud de la fuerza atractiva ejercida por B-612 sobre el principito:

$$F = \frac{GM_A m_P}{r^2}, \quad (1)$$

donde $G = 6,67 \times 10^{-11} N \cdot m^2 \cdot kg^{-2}$ es la constante de gravitación, y r es la distancia desde el centro del asteroide hasta el centro de gravedad del principito (aproximadamente la altura a la que se encuentra su ombligo).

De acuerdo con la segunda ley de Newton, sabemos que el peso del principito es proporcional a la aceleración de gravedad g en la superficie del asteroide:

$$F = m_P g_A. \quad (2)$$

Eliminando F entre las Ecs. (1) y (2) y resolviendo para M_A obtenemos:

$$M_A = \frac{g_A r^2}{G}. \quad (3)$$

Si suponemos que el centro de gravedad del principito se encuentra a $0,75m$ sobre sus pies (la mitad de su estatura), entonces podemos tomar $r = 1,5m + 0,75m = 2,25m$ encontrando que:

$$M_A = \frac{(10m \cdot s^{-2})(2,25m)^2}{6,67 \times 10^{-11} N \cdot m^2 \cdot kg^{-2}} \cong 7,6 \times 10^{11} kg. \quad (4)$$

Para hacernos una idea, esta es aproximadamente la masa de una montaña. Podemos modificar la masa de B-612 aumentando o reduciendo el valor de g_A , o cambiando la estatura del principito, pero como veremos pronto, no tenemos mucha margen de libertad para efectuar modificaciones, y cualquiera sea la suposición que hagamos, el mundo del principito siempre resulta inhóspito para la vida.

IV. ¿CUÁL ES SU DENSIDAD?

Antes de efectuar cálculos, a partir del valor encontrado antes para M_A es evidente que la densidad de B-612 debe ser enorme, pues debemos comprimir la masa de una montaña en el volumen ocupado por una esfera cuyo radio es del orden de la estatura de una persona. En efecto, podemos estimar la densidad de B-612 como:

$$\rho = \frac{M_A}{V_A} = \frac{M_A}{\frac{4\pi R_A^3}{3}} = \frac{3(7,6 \times 10^{11} kg)}{4\pi(1,5)^3} \cong \frac{5,4 \times 10^{10} kg \cdot m^{-3}}{5,4 \times 10^{10} kg \cdot m^{-3}}. \quad (5)$$

donde V_A es el volumen del asteroide y R_A es su radio. No existe nada en nuestro planeta con una densidad cercana a esta. La mayor concentración de materia en la Tierra la encontramos en el núcleo, donde se alcanzan valores de $1,22 \times 10^4 kg \cdot m^{-3}$, lo que está muy por debajo de la cifra calculada antes. El valor $5,4 \times 10^{10} kg \cdot m^{-3}$ está varios órdenes de magnitud por encima de la densidad típica de un asteroide, que es de aproximadamente $10^3 kg \cdot m^{-3}$. Ni siquiera en el centro del Sol existen densidades tan altas, donde se alcanza valores del orden de $10^5 kg \cdot m^{-3}$. Todo esto comienza a mostrarnos que además de su minúsculo tamaño, B-612 es un mundo muy

diferente del nuestro, y de cualquier otro objeto que podamos encontrar en el sistema solar.

V. ¿CUÁL ES LA RAPIDEZ DE ESCAPE DESDE SU SUPERFICIE?

Todos los cuerpos celestes, ya sean grandes planetas o pequeños asteroides, tienen una rapidez de escape, que es la rapidez mínima necesaria que debe tener un objeto para escapar de la atracción gravitacional del cuerpo celeste donde habita. Según la ley de gravitación Newtoniana, la velocidad de escape v_A desde B-612 es:

$$v_A = \sqrt{\frac{2GM_A}{R_A}} = \sqrt{\frac{2(6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2})(7.6 \times 10^{11} \text{ kg})}{1.5 \text{ m}}} \cong 8,2 \text{ m/s.} \quad (6)$$

Esta es una cifra muy pequeña, y es del orden de la rapidez de una persona corriendo rápido. La velocidad de escape desde la Tierra es de $1,12 \times 10^4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, mientras que en la Luna es de $2,38 \times 10^3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Con una velocidad de escape de apenas $8.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ el principito debería desplazarse con cuidado para no despegarse de la superficie de B-612 y salir disparado hacia el espacio exterior y ser atrapado por la gravedad de otro cuerpo celeste. Por lo tanto, es recomendable que no salte con demasiado entusiasmo y que evite correr, lo que para un niño es sin duda una importante limitación.

VI. ¿PUEDE TENER UNA ATMÓSFERA?

Aunque no conocemos la temperatura en la superficie de B-612, sabiendo que el principito habita en él podemos concluir que debe ser del orden de la temperatura media en la Tierra, que es de aproximadamente 20°C , lo que equivale a 293K . Por las mismas razones, concluimos que B-612 debe tener una atmósfera con una composición química semejante a la que tiene nuestro planeta, esto es, 21% de oxígeno (O_2), 78% de nitrógeno (N_2), y trazas de otros elementos.

Con esta información podemos deducir la rapidez media que deberían tener las moléculas que componen la atmósfera del asteroide. Para ello, utilizamos la ecuación para la rapidez raíz cuadrática media (r_{ms}), que proporciona una medida de la velocidad característica de las moléculas de un gas ideal a temperatura absoluta T :

$$v_{rms} = \sqrt{\frac{3kT}{m}}, \quad (7)$$

donde $k = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$ es la constante de Boltzmann y m es la masa de las moléculas del gas. Al igual que en el caso de la atmósfera terrestre, podemos suponer que la atmósfera de B-612 es un gas ideal. Como O_2 es el gas fundamental para la vida (N_2 es un gas inerte), nos interesa determinar la rapidez

rms del O_2 en el asteroide. Para ello tomamos $T = 293 \text{K}$ y $m_{\text{H}_2} = 5,3 \times 10^{-26} \text{ kg}$ en la Ec. (7):

$$v_{rms}(\text{O}_2) = \sqrt{\frac{3(1.38 \times 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1})(293 \text{K})}{2.66 \times 10^{-26} \text{ kg}}} = 480 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}. \quad (8)$$

Vemos que esta cifra supera ampliamente a la rapidez de escape en B-612, que como sabemos es de $8.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Esto implica que B-612 no puede tener atmósfera, sin duda una muy mala noticia para el principito, que se suma a las inquietantes conclusiones obtenidas en las secciones anteriores.

VII ¿CUÁNTO VALEN LAS FUERZAS DE MAREA EN SU SUPERFICIE?

Las fuerzas de marea son un fenómeno bastante corriente en el universo. Deben su nombre a las mareas oceánicas provocadas por la acción de la Luna y el Sol sobre nuestro planeta. La Tierra ejerce fuerzas de marea sobre las personas y objetos en su superficie, pero son tan pequeñas que sus efectos son imperceptibles. Las fuerzas de marea se deben al hecho que la gravedad varía con la posición y la altura, tal como sugiere la Ec. (1), donde se aprecia que la fuerza gravitacional es inversamente proporcional a la distancia respecto al centro del cuerpo gravitante.

Las fuerzas de marea actúan en distintas direcciones, pero por simplicidad aquí centraremos la atención en las fuerzas ejercidas en la dirección radial. Para entender las fuerzas de marea que actúan sobre el principito, miremos nuevamente la Fig. 1. Como los pies del principito están más cerca del centro de B-612 que su cabeza, la fuerza de gravedad sobre ésta será menor que sobre sus pies. A partir de la Ec. (1), podemos calcular las fuerzas por unidad de masa sobre la cabeza y los pies:

$$F_{\text{cabeza}} = \frac{2GM_A}{r_{\text{cabeza}}^2}, \quad F_{\text{pies}} = \frac{2GM_A}{r_{\text{pies}}^2}. \quad (9)$$

Nos interesa comparar estas fuerzas. Tomando $r_{\text{pies}} = R_A = 1.5 \text{m}$, y $r_{\text{cabeza}} = 3 \text{m}$:

$$\frac{F_{\text{pies}}}{F_{\text{cabeza}}} = \left(\frac{r_{\text{cabeza}}}{r_{\text{pies}}}\right)^2 = 4. \quad (10)$$

Vemos que la fuerza sobre los pies es 4 veces mayor que la fuerza sobre la cabeza. Esta diferencia entre las fuerzas es mucho mayor que la que experimentaría el principito en la Tierra, donde $F_{\text{feet}}/F_{\text{head}} \cong 1$. Por lo tanto, el principito sentiría una permanente sensación de pies pesados (o de cabeza ligera), que a diferencia de la conclusión de la sección anterior no pondría en riesgo su vida (al menos en el corto plazo), pero sin duda la haría poca grata.

VIII ¿EXISTE ALGÚN ASTEROIDE SIMILAR A B 612 EN NUESTRO SISTEMA SOLAR?

La respuesta es: depende de qué propiedades de B-612 consideremos. Por ejemplo, si centramos la atención en la masa, conocemos un caso interesante: el asteroide 2000 DP₁₀₇, descubierto en el año 2000. La masa de este objeto se estima en $4,6 \times 10^{11} \text{ kg}$ [2], una cifra muy cercana a la masa de B-612, que como vimos antes, podemos estimar en $7.6 \times 10^{11} \text{ kg}$. Sin embargo, el radio promedio de 2000 DP₁₀₇ es de 10^3 m , es decir, aproximadamente 666 veces mayor que el radio de B-612, y por lo tanto no reúne las condiciones para candidato al asteroide del principito.

Si consideramos el radio, existe un asteroide cuyo radio promedio es de 1 m , y por lo tanto, en cuanto a dimensiones, es lo más parecido al asteroide del principito que podemos encontrar en el sistema Solar, aunque su forma no es esférica sino elipsoidal. Fue descubierto en el año 2015 y se denomina 2015 TC₂₅ [3], pero su masa es muchísimo menor que de la B-612, y es del orden de algunas toneladas, aunque el valor exacto se desconoce. Por lo tanto, 2015 TC₂₅ tampoco cumple los requisitos para candidato al asteroide del principito.

Como es posible inferir a partir de la Ec. (6), tanto 2000 DP₁₀₇ como 2015 TC₂₅ tienen velocidades de escape mucho menores que la de B-612, y por consiguiente encontramos limitaciones mucho más severas para la vida del principito que las descubiertas antes. En particular, ni en 2000 DP₁₀₇ ni en 2015 TC₂₅ puede existir atmósfera. Por ejemplo, si asumimos que la densidad de un asteroide típico es del orden de la densidad del agua, $10^3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, la masa promedio de 2015 TC₂₅ es de 10^3 kg y partir de la Ec. (6) obtenemos una velocidad de escape de:

$$v_e = \sqrt{\frac{2(6.67 \times 10^{-11} \text{ N}\cdot\text{m}^2\cdot\text{kg}^{-2})(7.6 \times 10^{11} \text{ kg})}{10^3 \text{ m}}} \cong 3.7 \times 10^{-4} \text{ m/s.} \quad (11)$$

Esta sería la velocidad de escape desde B-612 si tuviera la densidad de típica de un asteroide, y es del orden de 3000 veces menor que la rapidez de una persona promedio caminando ($4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1} = 1,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). Si efectuamos un cálculo análogo para el asteroide 2000 DP₁₀₇ resulta:

$$v_e = \sqrt{\frac{2(6.67 \times 10^{-11} \text{ N}\cdot\text{m}^2\cdot\text{kg}^{-2})(10^3 \text{ kg})}{1 \text{ m}}} \cong 0.3 \text{ m/s.} \quad (12)$$

Vemos que la situación no mejora significativamente, ya que está velocidad es del orden de 4 veces menor que la de una persona promedio caminando, y corresponde aproximadamente a la velocidad con la que se desplaza un anciano con bastón.

Es interesante señalar que los asteroides 2000 DP₁₀₇ y 2015 TC₂₅ pertenecen a la categoría Apollo, un grupo de asteroides cercanos a la Tierra que tienen un semieje mayor orbital mayor que el de la Tierra ($> 1 \text{ AU}$) pero distancias de perihelio menores que la distancia del afelio de la Tierra ($< 1.017 \text{ AU}$) [2]. Debido a su cercanía la Tierra, y a la

consiguiente posibilidad de una colisión, este tipo de asteroides representan un peligro. ¿Si B-612 fuera un asteroide Apollo sería peligroso para la vida en la Tierra? Dada su masa comparativamente grande, no hay duda de que el mundo del principito sería muy peligroso, y una colisión frontal con él sería devastadora.

IX ¿ES POSIBLE QUE B-612 SEA UN MUNDO HABITABLE?

Una manera alternativa de plantear esta pregunta es: ¿Podemos modificar las propiedades físicas de B-612 encontradas antes para hacerlo habitable, o al menos convertirlo en un lugar menos inhóspito para la vida? Evidentemente, no tenemos mucho margen de libertad para modificar el mundo del Principito, pues debemos ser fieles al relato de de Saint-Exupéry y a las imágenes que ilustran su libro. En particular, esto significa que no podemos aumentar el radio de B-612 mucho más allá de 1 m , pues la Fig. 1 nos muestra claramente que R_A es del orden de la estatura del Principito.

Los problemas para el Principito en B-612 comienzan con la rapidez de escape, v_A , cuyo pequeño valor hace que el Principito deba ser muy cuidadoso para no salir disparado de su mundo. Luego, nos gustaría aumentar v_A . ¿Cómo logramos esto? De acuerdo con la Ec. (6) podemos lograrlo aumentando la masa M_A del asteroide o reduciendo su radio R_A . Analicemos cada caso por separado.

Si aumentamos M_A , surgen problemas con las fuerzas de marea, que son proporcionales a M_A . En efecto, si una diferencia de un 75% entre la fuerza sobre la cabeza y los pies es desagradable (recordemos que $F_{\text{pies}}/F_{\text{cabeza}} = 4$), aumentar dicha diferencia solo contribuiría a hacer aún más ingrata la vida del principito. Además, un aumento en M_A también implica un aumento en la aceleración de gravedad g_A , lo que tampoco contribuiría a mejorar la calidad de vida del principito ya que aumentaría su peso.

Por otra parte, si optamos por reducir la estatura del Principito, lo que conlleva una reducción equivalente en R_A , tenemos poco margen de libertad, ya que, debido a su vocabulario y madurez, con toda certeza el Principito tiene más de 5 años, y por tanto su estatura es superior a 1 m . Esto significa que la máxima reducción en la estatura que podemos lograr es del orden de algunos centímetros, lo que no nos permite aumentar significativamente v_A . Esto nos lleva al problema de la atmósfera, que también está relacionado con v_A . La Ec. (8) nos muestra que para retener el O_2 en la superficie de B-612 necesitamos disminuir T . Pero para lograr que v_{rms} fuera al menos del orden de v_A , según la Ec. (8) necesitaríamos que T fuera cercana al cero absoluto. Nuevamente malas noticias para el Principito.

¿Qué podemos decir sobre las plantas y los volcanes de B-612? Aunque esta pregunta nos lleva más allá de los propósitos de este trabajo, es claro que no puede existir vegetación si no hay atmósfera. Y respecto de los volcanes, si fuesen activos, tendría que existir magma en el interior del

asteroide, es decir, roca fundida, lo que requiere temperaturas del orden 10^3 K. Considerando el reducido tamaño de B-612, el gradiente de temperatura entre su interior y su superficie sería muy pequeño y por lo tanto la temperatura superficial también sería del orden 10^3 K, lo que haría imposible la vida. En síntesis, tal como señalamos en la introducción, hemos llegado a la conclusión de que B-612 pertenece al reino de la imaginación y es ahí donde debe permanecer.

X CONCLUSIONES: EL PRINCIPITO Y LOS NÚMEROS

Como revela la novela de de Saint-Exupéry, el principito sentía antipatía por los números. En un pasaje de la obra, el principito afirma que “Tener un amigo es un verdadero privilegio y si uno se olvida de ellos se corre el riesgo de volverse como las personas mayores que solo se interesan por las cifras y los números”. En otro pasaje, el principito comenta que “Los niños deben ser muy indulgentes con los adultos... Pero, claro está, nosotros que comprendemos la vida nos burlamos de los números”.

¿Cómo reaccionaría el principito si le dijéramos que la información sobre su vida en el asteroide B-612 puede ayudar a enseñar conceptos de física y matemáticas a jóvenes y niños? Si de Saint-Exupéry estuviese vivo, quizá podríamos

plantearle esta pregunta. Pero el autor del Principito murió en 1944, de modo que solo podemos especular.

Tiendo a pensar que el Principito (de Saint-Exupéry) reaccionaría positivamente. Después de todo, la antipatía que siente por los números tiene que ver con la forma en que los adultos los usan. Por lo tanto, es probable que la reacción del principito sea de satisfacción al descubrir que sus aventuras, al igual que las de otros personajes de la literatura de fantasía y ciencia ficción, pueden proporcionar un contexto lúdico y novedoso para aprender física y matemáticas en la escuela.

REFERENCIAS

- [1] de Saint-Exupéry, A., *The Little Prince* (Harcourt Brace & Company, New York, 1995).
- [2] McFadden, L. A. Binzel, R. P., *Encyclopedia of the Solar System* (Elsevier, 2ed., San Diego, 2007).
- [3] Reddy, V., Sanchez, J. A. Bottke, W. F., Thirouin, A., Rivera-Valentin, E. G., Kelley, M. S., Ryan, W., Cloutis, E. A., Tegler, S. C., Ryan, E. V., Taylor, P. A., Richardson, J. E., Moskovitz, N., Le Corre, L., *Physical characterization of 2 m diameter near-earth asteroid 2015 tc25: a possible boulder from e-type asteroid (44) nysa*, *The Astronomical Journal* **152** 1-6 (2016).