

Campo Gravitatorio en 2.º de Bachillerato: una oportunidad para conectar al alumnado con la actualidad científica

Manuel Alonso Sánchez

IES Leonardo Da Vinci de Alicante,
Alicante



Rafael Bachiller

Observatorio Astronómico
Nacional (IGN), Madrid



1. INTRODUCCIÓN

La Astronomía y la Astrofísica poseen un reconocido atractivo a la hora de despertar vocaciones científicas. La gran curiosidad que todo ser humano muestra por los astros puede utilizarse como una palanca que mueva el interés del alumnado hacia la Física. Concretamente, en 2.º de Bachillerato el estudio del Campo Gravitatorio ofrece una oportunidad magnífica para aprovechar esta curiosidad y utilizar estos temas como una potente herramienta, no sólo para hacer asimilar los conceptos abstractos de la Gravitación, sino también para reflexionar sobre el método científico y sobre la trascendencia del conocimiento de la Naturaleza y del Universo en general [8].

Este artículo presenta una experiencia en la que se utiliza la Astronomía y la Astrofísica para ilustrar los fenómenos físicos estudiados en el citado tema de Campo Gravitatorio. Para lograr una conexión estrecha de los contenidos académicos con los aspectos más candentes de la actualidad científica, entre los materiales de enseñanza-aprendizaje se vienen incardinando artículos de divulgación científica pertenecientes a las series Crónicas del Cosmos [3] e Hitos de la Astronomía [4]. El contenido curricular, junto con estos artículos y un conjunto de anima-

ciones interactivas *Modellus* [5, 1] de elaboración propia, conforman un tema amplio, que ha recibido una Mención de Honor en el certamen Ciencia en Acción 2014.

2. DESARROLLO DEL TEMA

2.1. Introducción de conceptos fundamentales

El tema se inicia poniendo en evidencia limitaciones del concepto newtoniano de fuerza como una acción a distancia: ¿cómo se ejercen fuerzas dos cuerpos celestes, sin haber nada entre ellos? ¿Cuál puede ser el mecanismo de la interacción? Estas cuestiones impulsan la introducción del concepto de campo gravitatorio, buscando que se aprecie el gran avance que supuso sustituir una interpretación de la gravitación en función de la fuerza entre dos cuerpos, por otra que atribuye el mecanismo de la interacción al campo que crea cada uno de ellos. Después, se insiste tratando de lograr una asimilación progresiva de este concepto, con apoyo de animaciones (figura 1).

De manera similar se introducen: la energía gravitatoria, el potencial, y la relación entre el campo y el potencial.

2.2. Campo gravitatorio terrestre

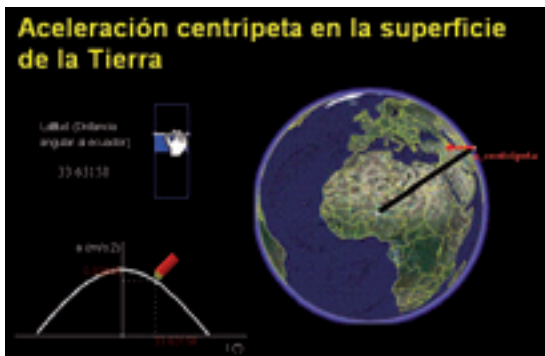
Introducidos los conceptos fundamentales, se trata específicamente el campo gravitatorio terrestre. Tras un estudio ajustado al programa oficial, se realizan varias ampliaciones:

- La primera ampliación versa sobre las variaciones del campo gravitatorio y de la gravedad terrestre con la latitud, dada la forma elipsoidal de nuestro planeta y también teniendo en cuenta su movimiento rotacional. En Bachillerato no se suele ver cómo afecta la rotación de la Tierra a la aceleración de la gravedad, cuando se mide en el sistema de referencia (no inercial) adoptable en cada punto del suelo. Para favorecer la comprensión de este importante concepto, se aporta una animación que obtiene la aceleración centrípeta a lo largo de la superficie terrestre (figura 2).
- La segunda ampliación trata las variaciones del campo y del potencial en la superficie terrestre, teniendo en cuenta la irregularidad del suelo.

Figura 1. Ejemplos de animaciones interactivas de refuerzo sobre el concepto de campo gravitatorio. Izquierda: Representación del campo alrededor de un cuerpo celeste. Derecha: Movimiento de oscilación de un cuerpo celeste en el campo gravitatorio producido por un sistema doble.



Figura 2. Animación que calcula la aceleración centrípeta a lo largo de la superficie de la Tierra.



La determinación precisa de estas magnitudes a escala local es un problema científico importante, y en algunas misiones espaciales se están logrando mediciones con una precisión sin precedentes, en la Tierra [6], y en la Luna [7]. Se ven estos avances y se introduce el geoide (señalando aplicaciones en oceanografía, geofísica, geodesia, glaciología y climatología). También se ve la inestabilidad del campo gravitatorio terrestre, ya que la corteza de nuestro planeta sufre, puntualmente, deformaciones significativas. Por ejemplo, el terremoto de 2011 en Japón, además de causar el tsunami y el accidente nuclear en Fukushima, lo modificó localmente.

- La tercera ampliación estudia la variación del campo gravitatorio con la distancia al centro de la Tierra. En algunos libros de texto se explica que, si la masa de la Tierra se distribuyera de forma homogénea, el módulo del campo gravitatorio subterráneo aumentaría linealmente con esa distancia. Este modelo de variación del campo gravitatorio con la profundidad no tiene en cuenta la estratificación del subsuelo. Aquí se añaden otros dos modelos algo más realistas: uno divide a la Tierra en sus dos capas principales: núcleo y manto. Al existir un salto muy brusco entre la densidad media del núcleo (11.0 g/cm^3) y la del manto (4.44 g/cm^3), atribuye a cada capa una densidad constante. El segundo modelo plantea una disminución progresiva de la densidad de la Tierra al ir del centro hacia la superficie. Varias animaciones recrean estos modelos (figura 3) y enseñan que g alcanza su valor máximo en un punto debajo del suelo.

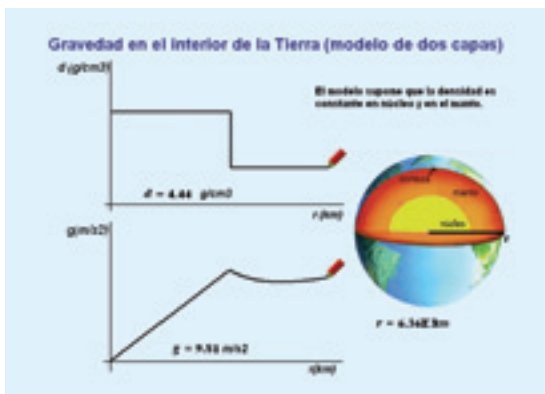


Figura 3. Animación que calcula el valor de g en el interior de la Tierra, bajo la suposición de que se estratifica en dos capas de densidad uniforme.

2.3. Fuerzas de marea

El programa oficial de Bachillerato incluye la explicación de las mareas oceánicas. Pero, las fuerzas de marea son un hecho gravitatorio mucho más general, causante de fenómenos astronómicos y astrofísicos dignos de atención. Vemos los siguientes:

- La **rotación síncrona de satélites**, que tienen al menos 24 satélites del Sistema Solar. Se explica el proceso natural que lleva a los satélites hacia la rotación síncrona (acoplamiento de marea) y se ve un artículo [Anexo 1] que detalla etapas del mismo en nuestro satélite, desde que se formó el sistema Tierra-Luna, hasta el momento actual. También se explica cómo la acción de las fuerzas de marea oceánicas sobre la Tierra está modificando el periodo de rotación de la Tierra y la órbita de la Luna: El par de fuerzas entre ellas decelera la rotación terrestre (alarga los días 1.4 milisegundos por siglo; unas dos horas en los últimos 1500 años) y acelera a nuestro satélite en su órbita, que se aleja de la Tierra (el radio orbital aumenta 3.8 metros por siglo) (figura 4), lo que finalmente conducirá a la desaparición de los eclipses solares totales.
- El **calentamiento por marea**, que transforma al 0.85 % de la energía del Sistema Solar en calor. Como ejemplo se estudia lo, el satélite más interno de Júpiter, en cuyo interior se alcanzan temperaturas del orden de 2000K. Las variaciones en la fuerza de atracción de Júpiter sobre lo, debidas a la excentricidad de su órbita, alteran significativamente su abultamiento por marea (hasta 100m de diferencia de altura), y, junto con la rotación de lo sobre su propio eje, generan intensas fricciones en su interior. Otro caso interesante es Encélado, una pequeña luna de Saturno que saltó a la actualidad cuando la sonda Cassini detectó en 2006 grandes géiseres que emergen por su superficie desde océanos líquidos del subsuelo. Se trabaja un artículo [Anexo I] donde se explica que, seguramente, el mecanismo que calienta este subsuelo son enormes fuerzas de marea ejercidas por Saturno. Encélado está despertando mucho interés porque su subsuelo reúne tres ingredientes indispensables para la vida: agua líquida, compuestos orgánicos y una fuente de energía (el volcanismo).
- El concepto de **límite de Roche** y su aplicación a la **desintegración de cometas** y a la **formación de anillos planetarios**. Se deduce una fórmula que calcula la fuerza de marea entre dos puntos opuestos de un cuerpo celeste. Como esta fuerza aumenta muy rápidamente al disminuir la distancia entre los dos objetos celestes, Roche supuso en 1948 que por debajo de una distancia mínima entre ellos, no puede orbitar uno alrededor del otro sin riesgo de desintegrarse. Todos los planetas del sistema solar orbitan con un radio mayor al límite de Roche. En sentido opuesto tenemos al cometa Shoemaker-Levy 9, que en 1992 se par-

tió en pedazos al superar el límite de Roche del planeta Júpiter. La formación de los anillos de Saturno también fue atribuida por el propio Roche a distorsiones por marea: las partículas que forman dicho anillo serían partes de un antiguo satélite natural que se rompió en pedazos (figura 5).

- Algunos procesos espectaculares en la **interacción entre galaxias**: Cuando dos galaxias espirales se aproximan, las fuerzas de marea provocan grandes filamentos de materia que viajan entre ellas (“colas de marea”). Se trabaja un artículo [Anexo I] sobre el descubrimiento de un interesante par de galaxias enlazadas.

2.4. Movimientos en el campo gravitatorio

Una gran contribución de la teoría de gravitación fue mostrar que no hay diferencias fundamentales entre, por ejemplo, el movimiento orbital de un satélite y el movimiento casi parabólico de una pelota lanzada desde una colina, ya que ambas trayectorias pueden derivarse de las mismas leyes fundamentales: la ley de gravitación y los principios de la dinámica. Para ilustrar este concepto se utiliza una animación que reproduce lanzamientos horizontales realizados desde lo alto de una torre a distintas velocidades, antes de ver los siguientes ejemplos de movimientos de objetos en el campo gravitatorio:

2.4.1. PROYECTILES

Se estudia el proyectil lanzado desde la Tierra, tratando el concepto de velocidad de escape, y también, el concepto (ausente en Bachillerato), de velocidad “límite”, casi constante, a la que tiende un proyectil lanzado con una velocidad superior a la de escape.

2.4.2. ATMÓSFERA TERRESTRE

Se obtiene la expresión de la velocidad cuadrática media de las moléculas de un gas, ya que el criterio estadístico aceptado por la física para considerar que un cuerpo celeste retendrá su atmósfera es que la velocidad de escape sea inferior a unas seis veces dicha velocidad. De ello se deriva que la temperatura en la superficie ha de ser inferior a una cantidad que depende de la masa del cuerpo celeste, de su radio y de la masa de las moléculas del gas atmosférico.

El gráfico adjunto aplica estos conceptos al sistema solar (figura 6). Las líneas coloreadas marcan valores de la temperatura y de la velocidad de escape, por encima de los cuales el campo gravitatorio no puede retener a los principales candidatos a componentes atmosféricos. Al situar en este gráfico a algunos cuerpos del sistema solar, se comprueba el tipo de atmósfera que poseen [los planetas jovianos tienen atmósferas dominadas por elementos ligeros, principalmente H_2 y He ; los planetas terrestres tienen atmósferas dominadas por N_2 , O_2 y CO_2]. Termina este apartado resumiendo el proceso de formación y mantenimiento

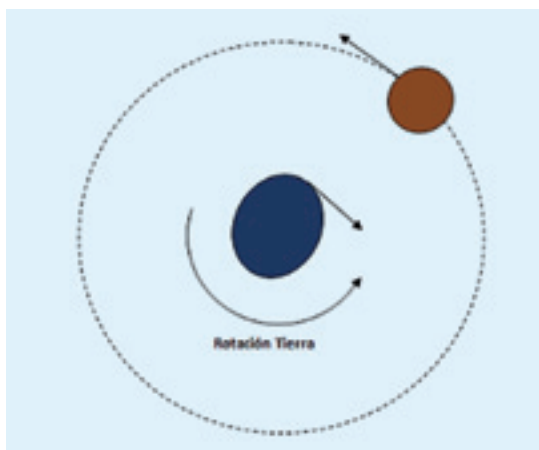


Figura 4. Par de fuerzas que se ejercen la Tierra y la Luna.

de la atmósfera de la Tierra, desde la atmósfera inicial primaria, hasta la atmósfera actual secundaria.

2.4.3. CAÍDA DE METEORITOS

Su estudio se refuerza con una animación sobre la caída de un meteorito en la Luna (figura 7) y luego se trata su contribución al conocimiento de aspectos del Sistema Solar y de su evolución. Se ve un artículo [Anexo I] sobre el meteorito que cayó en California en 2012: su análisis reveló la presencia de moléculas orgánicas que pudieron tener gran importancia en la evolución de la complejidad molecular en la Tierra primitiva y en los procesos relacionados con la emergencia de la vida. También se discute otro artículo [Anexo I] relativo a un estudio reciente sobre los restos de meteoritos procedentes del planeta Marte. La sugerencia de que casi todos ellos quizá procedan del gran impacto que creó el cráter Mojave en Marte hace unos 3 millones de años, ha abierto un gran debate en la comunidad científica, debido a sus implicaciones en las ideas actuales sobre la formación y la evolución de la corteza de Marte.

2.4.4. HIPOTÉTICA CAÍDA EN EL INTERIOR DE LA TIERRA

En 2.º de Bachillerato se estudia el movimiento de oscilación, y es interesante ver aquí el movimiento que tendría un objeto al que se dejara caer por el interior de un túnel hipotético atravesando a la Tierra. Este problema se resuelve usando el modelo más sencillo sobre el campo gravitatorio terrestre subterráneo (aumento lineal de su módulo con la distancia al centro de la Tierra), ya que así resulta accesible en este nivel. Una animación (figura 8) reproduce este hipotético movimiento.

2.4.5. SATÉLITES TERRESTRES

Tras obtener las expresiones de la velocidad de un satélite en órbita circular y de la relación entre

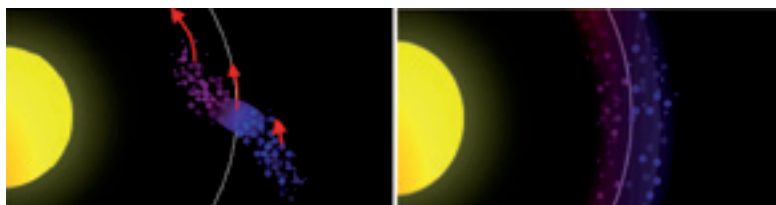
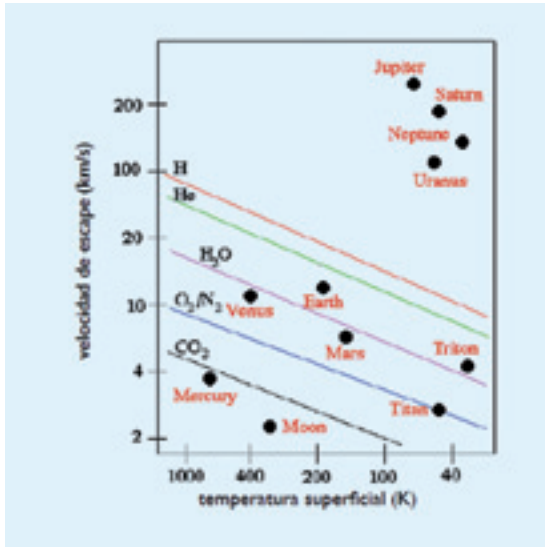


Figura 5. Formación de anillos alrededor de un objeto celeste al superar el límite de Roche | Theresa Knott.

Figura 6. Componentes principales en las atmósferas planetarias del sistema solar, dependiendo de la temperatura superficial y la velocidad de escape.



el periodo y el radio de la misma, se ve expresamente la órbita geoestacionaria, señalando que es una órbita óptima para las comunicaciones, ya que permite el uso de antenas fijas para mantener un contacto permanente con el satélite y se precisan pocos satélites para cubrir toda la superficie terrestre. También se mencionan inconvenientes de esta órbita, como el retraso (0.24 segundos) que provoca, por su alejamiento, entre las señales enviada y recibida del satélite.

Sigue este apartado alertando sobre la saturación de satélites, y no únicamente en la órbita geoestacionaria. Desde que comenzó la era espacial se han realizado unos 5000 lanzamientos de satélites y se estima que actualmente hay unos 170 millones de fragmentos de basura espacial de tamaño superior a un milímetro. Se acumulan especialmente en las órbitas bajas terrestres y son un grave peligro para los equipos espaciales. Así ocurrió en 2009 la colisión entre un satélite estadounidense de comunicaciones (Iridium-33) y un satélite militar ruso (Kosmos-2251). Se destruyeron ambos y se generaron más de 2.200 escombros observables.

2.4.6. LEYES DE KEPLER

El estudio de los movimientos orbitales de trayectoria elíptica se enriquece con un artículo sobre aspectos científicos e históricos de las leyes de Kepler [Anexo I] y se refuerza con animaciones.

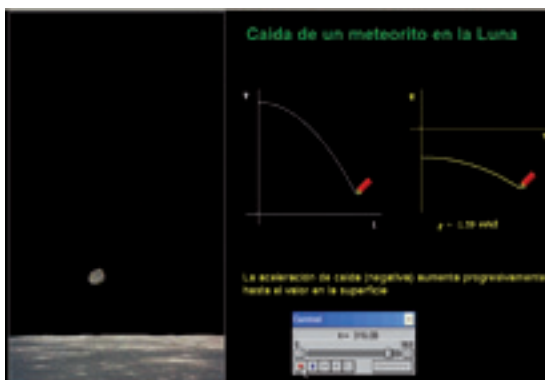


Figura 7. Animación sobre la caída de un meteorito en la Luna

Una de ellas representa el movimiento orbital de un planeta y dibuja de distintos colores radios vectores que barren la órbita en intervalos de tiempo iguales. Quedan señaladas áreas iguales, barridas en tiempos iguales (figura 9).

2.4.7. MASA DE LA TIERRA

Un problema obtiene en clase la masa de un planeta a partir del estudio del movimiento orbital de su satélite. Su solución, aplicada a la Tierra, da pie para informar de que Newton, poco después de formular la ley de gravitación universal, propuso dos métodos diferentes para determinar por separado la constante, **G** o la masa de la Tierra, **M**. Desde entonces, se fue midiendo la masa de la Tierra cada vez con mayor precisión.

Relacionado con este tema, se ve un artículo [Anexo I], sobre un trabajo de Ben Harris (ingeniero experto en sistemas de posicionamiento de satélites), que ha tomado datos muy precisos del movimiento de los satélites de los sistemas GPS, GLONASS y los primeros ya operativos de Galileo. Con esos datos, la masa de nuestro planeta sería mayor que la establecida hasta ahora por la Unión Astronómica Internacional y Harris ha formulado la hipótesis de que podría existir un anillo de materia oscura alrededor de la Tierra. Esta atrevida hipótesis también explicaría anomalías que se han observado en el movimiento de algunas naves espaciales.

2.4.8. SISTEMA GRAVITATORIO BINARIO

Tras señalar la dificultad que, en general, tiene el estudio del movimiento de un cuerpo celeste inmerso en alguna de las agrupaciones de materia en el Universo (sistemas planetarios, cúmulos estelares, galaxias, nubes de gas...), se introduce el concepto de centro de masas (olvidado en Bachillerato). En el sistema binario, si la velocidad de cada cuerpo (con respecto al otro) es menor que la velocidad de escape, pero suficiente para que no lleguen a colisionar, cada uno describe una órbita elíptica con respecto al otro. Sus periodos orbitales son iguales, e igual al periodo de cualquiera de ellos respecto del centro de masas, como muestra una animación (figura 10).

2.5. Otros temas de actualidad

2.5.1. PLANETAS EXTRASOLARES

La búsqueda de planetas extrasolares está en pleno auge. Se explica el principal método de detección de los mismos, determinando los cambios en la velocidad radial de la estrella alrededor de la cual orbitan. Estos cambios, a su vez, se deducen midiendo el efecto *Doppler* de bamboleo observado en la luz recibida de la estrella (el efecto *Doppler* sí se estudia en Bachillerato). Sobre esto se ven dos artículos [Anexo I]. Uno informa de que los astrónomos Michel Mayor y Didier Queloz utilizaron este método para detectar en 1995 el primer planeta extra-solar (51 Pegasi b, a 50 años-luz de

la Tierra). El otro informa de que, durante el primer periodo de su vida útil (hasta el año 2013), el satélite Kepler analizó la luz de cientos de miles de estrellas y aportó datos de que al menos 3.466 planetas podrían haber estado pasando por delante de ellas.

Estos estudios han confirmado que existen numerosos sistemas planetarios con planetas similares en tamaño a la Tierra y situados en zonas de habitabilidad en torno a su estrella o, en algunos casos, en torno a un sistema doble de estrellas. Con una animación (figura 11) se ve cómo influyen las masas de las dos estrellas en la trayectoria de estos planetas circumbinarios.

2.5.2. EL GRAVITÓN Y LAS ONDAS GRAVITACIONALES

Se hace una breve incursión en la concepción actual de las interacciones y en algunos problemas científicos que dicha interpretación está impulsando. Se explica que toda interacción se atribuye al intercambio de partículas mediadoras que portan el campo de fuerza correspondiente y se repasan las cuatro interacciones fundamentales. Se informa de que, de momento, esta interpretación se aplica con éxito a la fuerza electromagnética (intercambio de fotones), a la interacción débil (intercambio de bosones W y Z) y a la interacción fuerte (intercambio de gluones), pero que hay problemas precisamente con la interacción gravitatoria, porque aún no se ha detectado experimentalmente el gravitón, ni tampoco, de modo directo, las ondas gravitacionales (los estudiantes saben que las cargas aceleradas emiten ondas, y pueden entender que, análogamente, las masas aceleradas deberían emitir ondas gravitacionales).

Acerca de este tema se cita el experimento pionero de Taylor y Hulse en 1974 (Nobel en 1993), donde, midiendo las pulsaciones y el movimiento de un pulsar binario, comprobaron una disminución de su período orbital y lo interpretaron como una indicación de la emisión de ondas gravitacionales desde este sistema. Otros experimentos posteriores han obtenido resultados similares. Uno recién realizado (2012) con el Gran Telescopio de Canarias, se refiere a un sistema binario de enanas blancas, que orbitan cada vez más rápido y se están acercando entre sí, probablemente a causa las ondas gravitacionales que emiten.

2.5.3. LA POLARIZACIÓN DEL FONDO CÓSMICO DE MICROONDAS

Otro tema relacionado con el anterior es la posible observación de las huellas que debieron dejar en la radiación de fondo las ondas gravitacionales generadas con la formación del Universo. Según el modelo del universo inflacionario, en los primeros instantes del Universo se generaron fluctuaciones cuánticas que, tras ser estiradas por la expansión del Universo, debieron producir ondas de densidad y ondas gravitacionales. Las ondas de densidad fueron observadas inicialmente por el

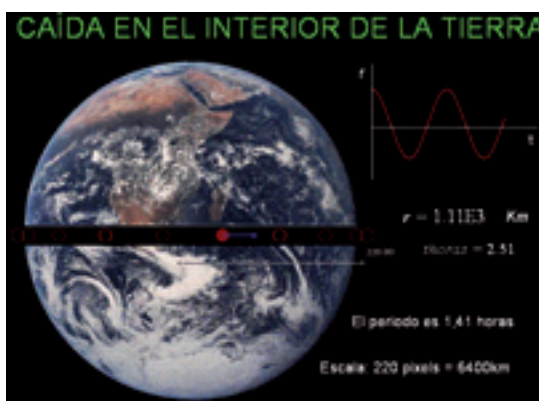


Figura 8. Animación de una hipotética caída por el interior de la Tierra

satélite COBE, en 1992, y más recientemente por las sondas espaciales WMAP y Planck. Por su parte, las ondas gravitacionales constituían una de las predicciones más buscadas de la teoría y en marzo de 2014, un grupo de investigación anunció en la prensa la posible confirmación de su existencia. La pretendida confirmación se basaba en que las ondas gravitacionales producidas en los primeros instantes del Universo han de generar un patrón característico en la orientación de la polarización

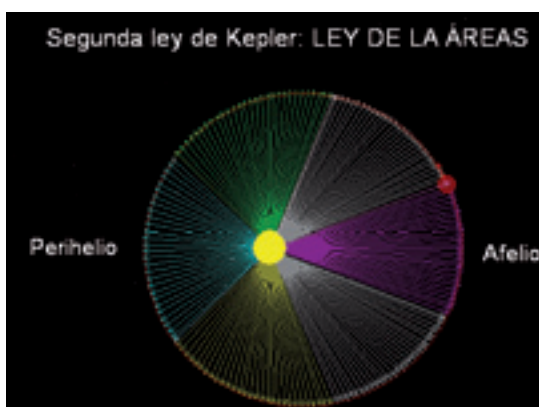


Figura 9. Animación sobre la segunda ley de Kepler. El planeta barre áreas iguales en tiempo iguales

del fondo de radiación (figura 12). Desde su publicación, la interpretación de estos datos fue motivo de encendido debate en la comunidad científica y, por ello, este tema se ha utilizado en clase para resaltar la trascendencia del rigor científico. La señal primordial de la radiación cósmica realmente se oculta detrás de la radiación de fondo y de la emisión del polvo (pequeñas partículas de ma-

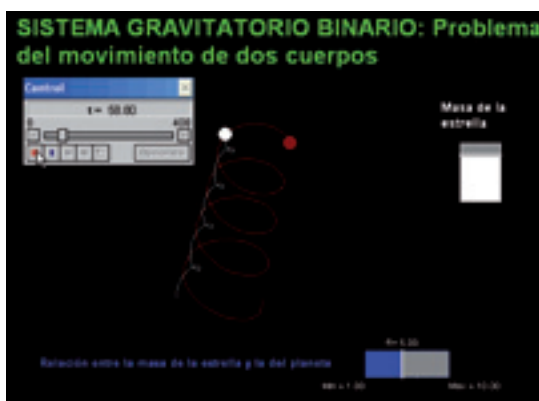
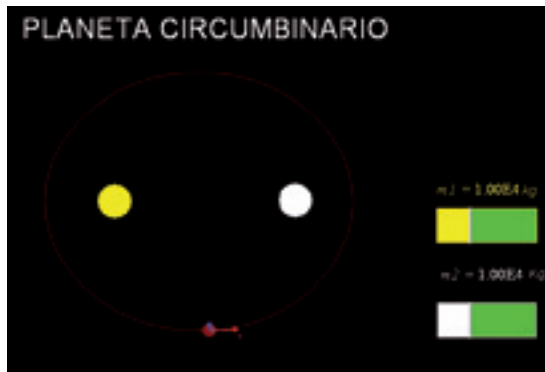


Figura 10. Trayectorias que pueden realizar los componentes de un sistema binario, según cuál sea la relación de sus masas.

Figura 11. Animación que recrea el movimiento de un planeta circumbinario.



terial sólido) de la Vía Láctea y el primer análisis de los datos obtenidos por el telescopio BICEP-2 no permitía afirmar con absoluta certeza que se hubiera sustraído debidamente el efecto de esta emisión galáctica. En esta situación, se esperaba que el análisis de los datos que obtuvo el telescopio espacial europeo Planck, gracias a sus medidas de gran precisión, sirviera para aislar la polarización de la señal, y, quizás, pudiera dar una respuesta definitiva. Se realizó un análisis minucioso de la combinación de datos del Bicep-2 con los del telescopio Planck que ha llevado a la conclusión de que, de momento, a partir de estos estudios, no se pueden extraer conclusiones definitivas sobre el efecto potencial de las ondas gravitacionales en los primeros instantes de la formación del Universo.

2.5.4. LA DETECCIÓN DIRECTA DE ONDAS GRAVITACIONALES

Finalmente se cita el proyecto NGO (New Gravitational wave Observatory) que la Agencia Espacial Europea (ESA) está considerando con el fin de construir un observatorio espacial dedicado a las ondas gravitacionales (podría estar operativo a partir de 2020). En uno de sus diseños preliminares, el NGO prevé utilizar tres naves espaciales idénticas, ubicadas en los vértices de un triángulo equilátero de cinco millones de kilómetros de lado. Cuando las ondas gravitacionales atraviesen la región del espacio en que se encuentren las naves, sus distancias relativas deberían modificarse por una perturbación espacio-temporal, de la que darían cuenta instrumentos a bordo.

CONCLUSIONES

Este trabajo está en constante evolución. Se discute con otros profesores, propiciando revisiones y actualizaciones en cada curso. Los resultados alcanzados hasta la fecha son muy satisfactorios.

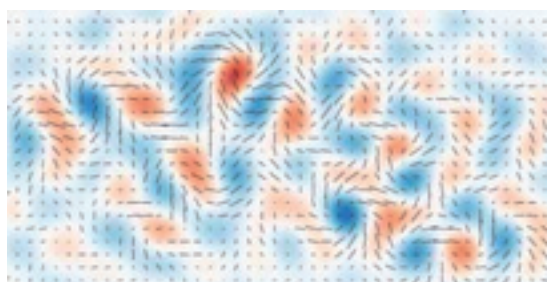


Figura 12. Esta estructura en la polarización de la radiación de fondo captada por el telescopio BICEP2 fue atribuida inicialmente al efecto de las ondas gravitacionales, pero medidas más precisas con el telescopio Planck, indican que tal estructura está dominada por el efecto del polvo interestelar. / BICEP2 COLLABORATION.

Durante el estudio de este tema los alumnos sienten la ciencia como una actividad viva y sumamente dinámica en la que podrían llegar a participar un día. Profundizan en los temas propuestos y frecuentemente van mucho más allá de lo que exige el programa oficial.

Los autores de este artículo ponen los materiales empleados en la presente experiencia a disposición de todos los profesores interesados en la página web del IES Leonardo da Vinci [2]. Desean estimular así tanto la utilización de todos estos contenidos como posibles colaboraciones con experiencias de índole similar.

Referencias:

- [1] M. ALONSO, V. SOLER, "Animaciones *Modellus* para las clases de física", *Revista Española de Física*, vol. 22, 3, 52-57 (2008) (<http://rsef.uc3m.es/images/REF/vol22n3/8.pdf>).
- [2] M. ALONSO, "Campo gravitatorio". En la web del Departamento de Física y Química del Instituto de Enseñanza Secundaria "Leonardo da Vinci" de Alicante (2009 a 2014). (http://intercentres.edu.gva.es/iesleonardodavinci/Fisica/Campo_gravitatorio/Campo_gravitatorio.htm).
- [3] R. BACHILLER, *Astronomía. Crónicas del Cosmos*. Artículos de divulgación en *Elmundo.es*. (2009 a 2014). (<http://www.elmundo.es/ciencia.html>)
- [4] R. BACHILLER, *Astronomía. De Galileo a los telescopios espaciales* (Lunwerg y CSIC, 2009). Versión electrónica: "Astronomía 1609-2009. Grandes hitos de la astronomía". *Elmundo.es. Astronomía*. (<http://www.elmundo.es/especiales/2009/02/ciencia/astronomia/capitulos.htm>)
- [5] V. DUARTE, *Modellus*, <http://phoenix.sce.fct.unl.pt/modellus/> (Universitat de Lisboa, 1996).
- [6] ESA (EUROPEAN SPACE AGENCY). GOCE earth explorers. (http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/The_Living_Planet_Programme/Earth_Explorers/GOCE)
- [7] NASA (NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ACT) , GRAIL (Gravity Recovery and Interior Laboratory)
- [8] (http://www.nasa.gov/mission_pages/grail/main/index.html)
- [9] W. A. ROJAS, A. J. BUSTAMANTE, "Mecánica Clásica, una puerta para la enseñanza de la astronomía en la educación básica y media", *Latin American Journal of Physics Education*, 7, 2. 294-297, 2013.

ANEXO I. Relación de artículos de divulgación incardinados en el tema, que se mencionan en este artículo.

- [10] R. BACHILLER, "1695: Las tres leyes de Kepler", *Elmundo.es. Astronomía. Hitos de Astronomía* (2009). (<http://www.elmundo.es/elmundo/2009/03/04/ciencia/1236156411.html>).
- [11] R. BACHILLER, "1619: El 'boom' de los planetas extrasolares", *Elmundo.es. Astronomía. Hitos de Astronomía* (2009) (<http://www.elmundo.es/elmundo/2009/11/17/ciencia/1258473431.html>).

- [12] R. BACHILLER, "Más de 1000 planetas extrasolares", *Elmundo.es. Astronomía. Crónicas del Cosmos* (2009) (<http://www.elmundo.es/elmundo/2011/02/14/ciencia/1297709496.html>).
- [13] R. BACHILLER, Géiseres y océanos en Encélado. *Elmundo.es. Astronomía. Crónicas del Cosmos* (2011) (<http://www.elmundo.es/elmundo/2011/01/31/ciencia/1296487531.html>).
- [14] R. BACHILLER, "¿Por qué vemos siempre esta cara de la Luna?", *Elmundo.es. Astronomía. Crónicas del Cosmos* (2012) (<http://www.elmundo.es/elmundo/2012/04/01/ciencia/1333298490.html>).
- [15] R. BACHILLER, "Un sorprendente par de galaxias enlazadas", *Elmundo.es. Astronomía. Crónicas del Cosmos* (2013) (<http://www.elmundo.es/elmundo/2013/07/29/ciencia/1375088487.html>).
- [16] R. BACHILLER, "Un tesoro científico caído del cielo", *Elmundo.es. Astronomía. Crónicas del Cosmos* (2013) (<http://www.elmundo.es/elmundo/2013/09/23/ciencia/1379938250.html>).
- [17] R. BACHILLER, "¿Vienen todos los meteoritos marcianos del mismo cráter?", *Elmundo.es. Astronomía. Crónicas del Cosmos* (2014) (<http://www.elmundo.es/ciencia/2014/03/19/5326c9ecca474184188b456d.html>).
- [18] R. BACHILLER, "¿Está la Tierra rodeada por un anillo de materia oscura?", *Elmundo.es. Astronomía. Crónicas del Cosmos* (2014) (<http://www.elmundo.es/ciencia/2014/01/15/52d3c19c22601dae288b456e.html>).



¿te gusta investigar?

ATI

La solución adecuada a cada instalación

Suministro de equipamiento para investigación

* alimentación HV-LV * cables de alimentación * racks * electrónica de control y adquisición * espectroscopía * detectores (ultravio, H¹⁸O, centelleadores, Cd/Zn/Te...) * cables y accesorios * gestión de adquisiciones

info@atisistemas.com