

ARTÍCULO

DESAFÍOS DE LA ASTROFÍSICA CONTEMPORÁNEA

Dr. Francisco Javier Sánchez-Salcedo
Investigador Titular A TC
jsanchez@astroscu.unam.mx

Dr. Alfredo J. Santillán González
Investigador Titular B TC
alfredo@astroscu.unam.mx

Desafíos de la Astrofísica Contemporánea

Resumen

Actualmente existen un sinnúmero de problemas no resueltos en diferentes ramas de la ciencia. La astrofísica no es la excepción, de hecho, el descomunal avance tecnológico ha permitido desarrollar potentes telescopios terrestres y exóticas naves espaciales que constantemente están monitoreando el Universo y haciendo nuevos descubrimientos que se convierten automáticamente en nuevos retos que deben solucionar las nuevas generaciones de astrónomos de todo el mundo. En este trabajo daremos una breve descripción de algunos de estos problemas que hasta la fecha no han sido resueltos: calentamiento de la corona solar, observación de exoplanetas, el origen de las estrellas masivas, origen de los rayos cósmicos ultraenergéticos, estallidos de rayos gamma, materia y energía oscura.

Palabras clave: corona solar, exoplanetas, estrellas masivas, estallidos de rayos gamma, energía y materia oscura.

Challenges of the Contemporary Astrophysics

Abstract

The rate of development of science nowadays is striking. Nevertheless, many problems in science remain still unsolved. Astronomy is not an exception. In fact, the technological progress has led to the development of powerful telescopes placed on Earth and exotic spacecrafts that are continuously scrutinising the Universe and making new discoveries. These new findings are a challenge for the young generation of astronomers around the world. In this review, a limited list of the top agenda problems was given and commented on: heating of the solar surface, the observation of exoplanets, the origin of massive stars, the origin of ultraenergetic cosmic rays, gamma ray bursts and the dark matter problem and the dark energy.

Keywords: sun corona, exoplanets, massive stars, gamma ray bursts, dark matter, dark energy.

Introducción

Si bien la Astronomía como ciencia es al menos tan antigua como la Mecánica clásica (400 años), la astrofísica es muchísimo más joven. Una posible fecha que podría marcar el nacimiento de la Astrofísica podría ser el momento en que fuimos capaces de interpretar los espectros electromagnéticos (ver figura 1). Como referencia, nótese que la radioastronomía comenzó en 1931 (History of Radio Astronomy, NRAO), y las observaciones astronómicas en rayos-X en 1962 (History of X-Ray Astronomy, Chandra X-Ray Observatory). Como otras ramas de la ciencia, los retos a los que se enfrenta la astrofísica van cambiando. Conforme se van resolviendo algunos enigmas, se abren nuevas preguntas. En el caso de la astrofísica, en particular, las nuevas observaciones que se realizan con mejores telescopios hacen que sea siempre una ciencia viva, es decir, que siempre haya nuevos hallazgos, muchas veces inexplicables al principio, a los que tenemos que enfrentarnos. Por ende, la grandeza de la Astronomía reside en el hecho de que muchas de las propuestas teóricas que se hacen puedan ser refutadas en futuras observaciones. Es decir, también se exige que los modelos tengan cierta capacidad predictiva y no solo descriptiva.

En este artículo destacamos algunos de los retos que consideramos de gran relevancia en la Astrofísica actual y no se pretende dar una revisión completa de los problemas a los que la Astrofísica moderna se enfrenta. Más bien, hemos seleccionado un conjunto de temas que ilustren el panorama actual en las principales ramas que componen la Astrofísica: Sol, Sistema Solar, Planetas, Estrellas, Medio Interestelar, Galaxias y Universo.

Física Solar: ¿por qué la corona del Sol está tan caliente?

La estrella que se ha observado con mayor resolución, la cual creemos conocer bien, es una cercana, llamada Sol. Fue sólo después de entender la radioactividad, a principio del siglo XX, cuando se pudo entender cuál era la fuente de energía última del Sol. Uno de los enigmas del Sol que más ha perturbado, aparte del problema de los neutrinos solares, ha sido el de explicar el mecanismo por el cual la corona del Sol presenta una temperatura tan alta (del orden del millón de grados) siendo que en su superficie la temperatura apenas llega a los 6,000 K.

El problema es similar a tener una gran olla hirviendo, cuya temperatura del vapor del agua, en vez de estar a 373 K, estuviera a 3,000 K. Existen varias hipótesis para explicar la temperatura coronal. Justamente, cuando estábamos cerrando la escritura de este artículo, apareció una nota en la revista especializada *Astrophysical Journal* (Reale *et al.* 2009) del Telescopio de Rayos-X (XRT, por su siglas en inglés) del Observatorio Espacial Japonés *Hinode*, que está perennemente observando al Sol, donde se sugiere que el calentamiento de la corona solar es debido a la reconexión de las líneas del campo magnético en pequeños tubos. Debemos recurrir a la energía acumulada en el campo magnético para explicar la temperatura de la corona del Sol.

Sistema Solar: ¿existen planetas en otros “soles”?

Respecto al Sistema Solar, destacaremos el gran esfuerzo que se está invirtiendo en entender las formas de vida de organismos extremófilos y su posible detección en Marte y en los satélites Titán, Europa y Encelado. La actividad geológica en estos satélites y la composición rica de sus atmósferas hacen que sean auténticos laboratorios que podrían albergar la respuesta al origen de la vida. Se está investigando en la caracterización de los posibles tipos de microorganismos que serían capaces de habitar los ambientes inhóspitos de estos satélites. No obstante, uno de los temas donde más se ha avanzado en la década, es el de la detección de planetas en órbita alrededor de otras estrellas. Son los llamados planetas extrasolares.

En la actualidad hay una gran competencia por detectar el planeta más pequeño (Leger *et al.* 2009). No solo es cuestión de batir un record; cuanto más pequeño sea el planeta detectado más parecido será a nuestra Tierra. Además, tendremos una mejor estadística en cuanto a la probabilidad de encontrar sistemas planetarios como el Solar. Nótese que para que haya un planeta con organismos de tipo eucarionte (bien desarrollados), debemos tener un planeta rocoso, es decir, de baja masa, protegido de la caída de meteoritos por otro gigante. En el caso del sistema solar, el gigante que protege a la Tierra del impacto catastrófico de asteroides es Júpiter. El descubrimiento de nuevos planetas ayudará a entender la migración radial de los planetas, y será clave para determinar de manera más rigurosa, la probabilidad de detectar vestigios de vida en planetas en órbita alrededor de otras estrellas. Uno de los retos es demostrar, a través de espectros de la luz reflejada por estos planetas, la existencia de agua en alguno de ellos.

Estrellas: ¿cómo nacen las estrellas masivas?

El avance realizado en el entendimiento y modelaje de los interiores estelares ha sido enorme en los últimos 20 años. Se puede decir que el grado de comprensión sobre qué procesos concurren dentro de una estrella es muy bueno. Sin embargo, existen todavía fases de las estrellas que no se entienden. Uno de los temas de mayor actividad actualmente es el de determinar, desde un punto observacional, cómo se forman las estrellas masivas. Esto es, las estrellas con una masa mayor a 8 veces la masa del Sol. En la visión convencional que tenemos de la formación de las estrellas, la fuerza de la gravedad atrae material y lo condensa formando una nube de gas. La gravedad también tiende a fragmentar a la nube en pequeñas partes, lo cual conduce a la formación de un cúmulo de estrellas. Dicha fragmentación puede inhibir la formación de estrellas masivas, puesto que las estrellas que se forman calientan y evaporan el gas de la nube. Curiosamente se ha visto que las estrellas más masivas suelen nacer en cúmulos de estrellas (Larson 2009) y son pocas las que nacen aisladas.

De allí se concluye que (1) la interacción gravitacional entre las estrellas puede catalizar la formación de estrellas masivas de alguna manera, o (2) que la turbulencia que se genera en el gas del cúmulo produce regiones amplias y de gran sobredensidad, más rápidamente que la tasa a la que el gas se calienta y escapa del cúmulo. En efecto, la turbulencia puede ayudar a evitar la fragmentación de la nube. Desde el punto de vista observacional, las estrellas en las primeras etapas de su formación están ocultas dentro de envolturas de polvo y gas que bloquean la luz visible.

El Medio Interestelar: “origen de los rayos cósmicos ultraenergéticos”

Procedentes del Medio Interestelar nos llegan, a la parte alta de la atmósfera, partículas cargadas que viajan a velocidades relativistas que se denominan rayos cósmicos. Una fracción importante de estas partículas se frena al interactuar con los átomos y moléculas de nuestra atmósfera produciendo una cascada de decaimiento en otras partículas. El origen de los rayos cósmicos, descubiertos en 1912, fue un enigma durante muchos años. Ahora, parece que pocos dudan de que la fuente principal que produce la aceleración de estas partículas son los remanentes de supernova.

En realidad, es el origen de los rayos cósmicos ultraenergéticos (Energía $> 10^{19}$ eV) lo que es particularmente importante e interesante entender. Los rayos cósmicos ultraenergéticos que nos llegan del cosmos, tienen una energía superior a los que se pueden conseguir con el acelerador de partículas más potente en la Tierra. Por ejemplo, el acelerador de partículas que se pondrá de nuevo en funcionamiento en septiembre, acelerará partículas hasta 14 TeV. Aunque no es fácil, tiene que ser posible acelerar partículas cargadas hasta esas velocidades en los núcleos activos de galaxias. Sin embargo, surge un problema inmediatamente cuando estas partículas colisionan con los fotones de la radiación de fondo: se generan piones por lo que se frenan y, por lo tanto, no pueden viajar largas distancias. Por esta razón, se esperaba que hubiera un cambio en la pendiente del espectro. Sin embargo, éste no se ha detectado. El origen de los rayos cósmicos ultraenergéticos ha dado pie a mucha especulación y será un reto en los próximos años (para mayor información ver “HAWC un nuevo observatorio de rayos gamma en México” en este volumen).

Estallidos de rayos gamma

Los estallidos de rayos gamma, descubiertos por satélites militares en la década de los 60, han atraído el interés de los cosmólogos porque se pueden usar como candelas para medir distancias. Los estallidos de rayos gamma representan el fenómeno explosivo más energético observado en el Universo después de la Gran Explosión, se libera una energía de entre 10^{53} y 10^{54} ergs exclusivamente en la banda de rayos gamma. En los últimos cinco años se ha podido determinar qué tipo de colisión puede generar esta liberación de energía (e.g., van Putten 2009). Se ha visto que el origen de los estallidos es extragaláctico e incluso se ha sido capaz de determinar en algunos casos cuál era la galaxia anfitriona del estallido de rayos gamma. Resta caracterizar mejor como depende su luminosidad intrínseca con la forma de la curva de luz, que es en realidad lo que se observa, para poder así usarse para determinar el ritmo al que se expande el Universo.

¿Cómo se forman los agujeros negros masivos galácticos?

Hemos mencionado anteriormente que la formación de estrellas masivas sigue siendo un problema abierto. Muchísimo menos se sabe sobre la formación de los agujeros negros masivos que se observan en los centros de las galaxias. Debe existir alguna manera eficiente de acarrear la masa equivalente a un millón de masas solares o más, a una región muy pequeña en un tiempo relativamente corto. La correlación derivada empíricamente entre la masa del agujero negro y la dispersión de velocidades del bulbo estelar, indica que el agujero negro jugó un papel importante en las propiedades globales de la galaxia o que las propiedades de la galaxia determinaron la eficiencia del acarreo de material hacia el centro. Curiosamente, si tal y como se cree, todas las galaxias albergan un agujero negro en su centro y, por otro lado, la colisión y fusión de galaxias es algo muy frecuente, uno esperaría encontrar agujeros negros binarios en muchas galaxias (Dotti

et al. 2007). Sin embargo, ya que no se han observado pares de agujeros negros salvo en raras excepciones, se concluye que los dos agujeros negros deben acercarse y fusionarse en un tiempo muy corto. Es decir, debe existir un mecanismo muy eficiente por el cual los agujeros negros pierden energía orbital (y momento angular) para producir la coalescencia.

El Universo: ¿qué pasa con la materia oscura?

Una mirada al cielo en una noche estrellada nos revela que el Universo no es homogéneo. Claramente podemos apreciar que la luz viene principalmente de puntos luminosos, las estrellas, y de una banda de luz más difusa, el disco de estrellas de la Vía Láctea. Si viéramos el Universo desde fuera de nuestra galaxia, no tardaríamos en percibir que la mayor parte de la materia se distribuye formando galaxias, esto es, el Universo tiene mucha subestructura. Esta gran cantidad de subestructura sólo se puede explicar si hay una componente de materia que apenas interactúa con la materia ordinaria (protones, electrones, fotones...), excepto a través de la fuerza gravitacional. Por ahora, sólo tenemos constancia de esta materia, que llamamos materia oscura, por su efecto gravitacional. Aunque desconocemos qué tipo de partícula es, de lo que estamos seguros es que no sufre colisiones. Por lo tanto, es muy fácil de calcular a través de grandes computadoras, cómo la materia oscura se agrupa en grumos formando grandes estructuras. El acuerdo entre las observaciones de la distribución de masa en el Universo y las encontradas en experimentos numéricos es tan bueno que actualmente se usan estas simulaciones para tener predicciones y fundamentar futuras observaciones. La simulación de mayor tamaño que se ha hecho hasta la fecha se conoce como la simulación del Milenio (Millennium Simulation Project). La resolución de esta simulación permite tener una estadística fiable de cuantas galaxias esperamos tener de una cierta masa y como se agrupan, y de como y cuando se forman los cúmulos de galaxias. Además, se puede alcanzar una resolución suficiente como para saber como es la distribución de la materia oscura dentro las galaxias (ver figura 5).

El reto actual en el contexto de la formación de galaxias es incluir la materia ordinaria (bariónica) que es realmente de la que están compuestas las estrellas y el gas, y que es, obviamente, lo que observamos con nuestros telescopios ópticos. El objetivo a largo plazo es tener simulaciones completas de la formación de galaxias de tal manera que tuviéramos la historia de formación estelar, su población estelar. Estas simulaciones nos darían observables como la luminosidad o el índice de color de las galaxias que sería fácilmente comparable con las observaciones de muestras completas de millones de galaxias. Por ejemplo, podríamos comparar la formación estelar global del Universo con los datos observados. La dificultad estriba en que se requieren muchos recursos computacionales para tener acceso a un rango tan grande de escalas. Por ejemplo, la galaxia vecina Andrómeda, que se puede ver a simple vista en lugares con cielos muy oscuros, está a una distancia de 700 mil pársecs (1 parsec = 3.26 años-luz). Para resolver con cierto grado de confianza la formación de estrellas en el disco de una galaxia se requiere una resolución de unos 20 pársecs. Esto significa que si queremos resolver un grupo pequeño de galaxias necesitaríamos ser capaces de resolver un rango espacial de 25,000.

Cosmología: “el misterio de la energía oscura”

Desde los trabajos de Hubble, se sabía que el Universo estaba en expansión. Lo que ha causado un gran revuelo entre físicos y astrofísicos es que esta expansión es acelerada. La expansión acelerada del Universo fue sugerida de los estudios realizados de los datos de luminosidad de las supernovas cosmológicas. Una expansión acelerada significa que en las ecuaciones que describen la dinámica del Universo, se debe poner un término del tipo de constante cosmológica. Las ecuaciones de Einstein permiten introducir este término. De acuerdo con los últimos ajustes, el efecto de este término, al que se le ha bautizado como energía oscura, es dominante en el momento actual del Universo, contribuyendo con un 74 % a la densidad crítica. Se desconoce cual es la naturaleza física de la energía oscura, no obstante, esta se puede considerar como una misteriosa fuerza que se comporta aproximadamente como la constante cosmológica, asegurando que el Universo se esté acelerando en lugar de decelerarse bajo los efectos de la gravedad. Cabe mencionar

que la constante cosmológica fue introducida inicialmente por Einstein en sus ecuaciones de campo de la Relatividad General para poder modelar un universo estático homogéneo con simetría esférica. Por otro lado, la posibilidad más sencilla es que la energía oscura fuera energía asociada al vacío, pero se requieren más observaciones cosmológicas para determinar la ecuación de estado y así poder acotar más su naturaleza.

Es un reto importante de la física y la astrofísica moderna caracterizarla mejor, de lo contrario, habrá una gran libertad que dará lugar a una gran degeneración caprichosa de modelos. Como ejemplo, actualmente no podemos destacar la existencia de una hipotética interacción entre la energía oscura y la materia oscura.

Algunas reflexiones finales

El aguerrido lector de revistas y periódicos se habrá dado cuenta, si es que ha sido capaz de leer hasta esta línea, que en este artículo sólo hemos repetido con poca originalidad y ninguna creatividad lo que los medios de comunicación nos han bombardeado sobre los retos de la Astrofísica Moderna. Si queremos ser críticos con nosotros mismos debemos admitir que en la Ciencia es difícil, o imposible, decir que un problema sea más importante que otro. Sería más justo decir que a un problema se le está invirtiendo más esfuerzo y más dinero que a otro. El científico ante todo es hombre y, como tal, tiene importantes sesgos sociológicos y culturales. La magia de la ciencia está en el reto de entender la naturaleza. Por ejemplo, el estudio del movimiento de una mota de polvo suspendida en el aire puede resultar ridículo y de poco interés, si lo miramos desde el punto de vista de los grandes proyectos de la Ciencia. Sin embargo, la descripción del movimiento browniano de esa mota de polvo puede ser tan complicado e interesante (y de mayor aplicación quizás) como la energía oscura. La Ciencia se construye a través de la unión de muchos ladrillos y, pocas veces, la resolución de un enigma ha dado lugar a un cambio de paradigma.

En el siglo XXI, la divulgación masiva de la Astrofísica ha quedado en manos de ciertas cadenas televisivas que con mucha frecuencia caen en el catastrofismo, el tremendismo y una exageración que rayan en la ciencia ficción, como elementos básicos para ganar audiencia. ¿Qué pasaría si un meteorito chocara con la Tierra? ¿Qué pasará cuando la galaxia Andrómeda choque con la Vía Láctea? ¿Qué pasaría si hubiera un estallido de rayos gamma cerca del sistema solar?

Reflexione qué le contestaría a su peluquero si le dijera: “La ciencia está loca. los científicos han sabido que el cadáver de hielo que encontraron en un glaciar al sudoeste de Austria vivió hace 5,300 años, era hombre, han averiguado qué comía, cuántos años tenía cuando murió, cómo lo mataron, y el color de sus ojos. Sin embargo, a esta pobre chica (se refiere a Caster Semenya) que la vimos correr ayer en la televisión, pues no saben si es hombre o mujer. Van a tener que ver a la atleta, ginecólogos, endocrinólogos, sicólogos y expertos en medicina interna, y alguien más que no recuerdo ahora, parasicólogos o no sé.”

Conclusiones

La ciencia avanza a pasos agigantados pero en el proceso de dar respuesta a ciertas preguntas se generan nuevas preguntas que contestar. En este artículo hemos discutido alguno de los desafíos de la Astronomía actual, con el fin puesto en mostrar a los jóvenes estudiantes que todavía queda mucho por hacer en Astronomía. Para algunos, estamos en un momento crítico en nuestra comprensión de la Cosmología. Para los más prácticos, la Astronomía puede estimular el desarrollo de nuevas tecnologías, indispensables para la fabricación de nuevos telescopios y observatorios espaciales. En cualquier caso, es lícito preguntarse ¿qué hay más allá de la Luna?

Bibliografía

Dotti, M., Colpi, M., Haardt, F. & Mayer, L., "Supermassive black hole binaries in gaseous and stellar circumnuclear discs: orbital dynamics and gas accretion", 2007, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 379, pp. 956-962.

Hinode (Solar-B) spatial observatory, (2006), [en línea]

<http://solar-b.nao.ac.jp/index_e.shtml> [Consulta: 28 de septiembre 2009]

History of Radio Astronomy, National Radio Astronomy Observatory, NRAO, (2009), [en línea]

<<http://www.nrao.edu/index.php/learn/radioastronomy/radioastronomyhistory>> [Consulta: 28 de septiembre 2009]

History of X-Ray Astronomy, Chandra X-Ray Observatory, (2009), [en línea]

<http://chandra.harvard.edu/xray_astro/history.html> [Consulta: 28 de septiembre 2009]

Larson, R.B., "Angular Momentum and the Formation of Stars and Black Holes", (2009) [en línea]

<<http://arxiv.org/abs/0901.4325>> [Consulta: 28 de septiembre 2009]

Leger et al. "Transiting exoplanets from the CoRoT space mission VIII. CoRoT-7b: the first Super-Earth with measured radius" (2009), [en línea] <<http://arxiv.org/abs/0908.0241>> [Consulta: 28 de septiembre 2009].

Millennium Simulation Project, (2005) [en línea]

<<http://www.mpa-garching.mpg.de/galform/virgo/millennium/>> [Consulta: 28 de septiembre 2009].

Reale, F.; Mc Tiernan, J. M. & Testa, P., "Comparison of *Hinode*/XRT and *RHESSI* Detection of Hot Plasma in the Non-Flaring Solar Corona", (2009), *Astrophysical Journal Letters*, Volume 704, pp. L58-L61. Putten, M. H. P. M., "On the origin of long gamma-ray bursts" 2009, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters*, Volume 396, pp. L81-L84.

