

Materia oscura o...

¿De qué está hecho el Universo?

Arcadio Poveda*

Oscuro: que carece de luz o claridad...
Confuso, falto de claridad, poco inteligible.
Diccionario de la Real Academia Española,
décimonovena edición.

La pregunta anterior ha sido preocupación permanente de filósofos, pensadores y científicos, desde la remota antigüedad hasta nuestros días. En forma recurrente y cuando parecía estar a la vista la respuesta, ha ocurrido que algún nuevo descubrimiento, o alguna nueva interpretación de los datos conocidos ha alejado de nosotros la solución al misterio. Desde los atomistas de la Grecia clásica hasta los investigadores contemporáneos, con sus grandes telescopios, aceleradores, satélites, y sus hermosos esquemas teóricos, la búsqueda ha sido fascinante, pero aún no sabemos la respuesta.

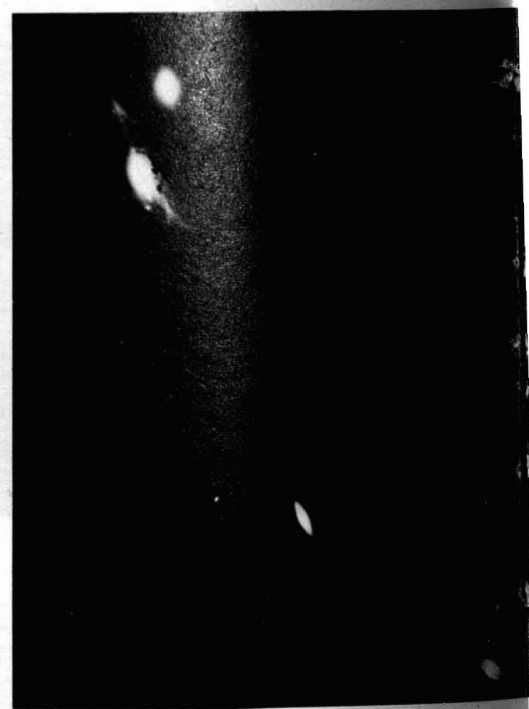
Conocemos muy bien los átomos y las partículas fundamentales que los componen: los protones, neutrones y electrones, así como una enorme variedad de elusivas partículas elementales. Los cuerpos que nos son familiares están compuestos de estas partículas; el aire, el agua, nuestros cuerpos, la Tierra, el Sol y las estrellas los entendemos más o menos en función de las partículas básicas arriba mencionadas. Pero... desde hace poco más de 50 años los astrónomos empezaron a encontrar indicios de que en el Universo existen grandes cantidades de materia no luminosa, cuya naturaleza o identidad aún no logramos entender: esta materia invisible, o materia oscura como la llamaremos, que puede estar compuesta de partículas desconocidas,

aún no observadas en los laboratorios terrestres, constituye entre el 90 y el 99% de la masa o materia del Universo. En pocas palabras, la mayor parte de la masa o materia que compone el Universo no sabemos qué sea. En este artículo vamos a examinar la historia de este tema intrigante, así como algunos de los casos más notorios de su presencia en diferentes ámbitos del Universo.

El primer caso de materia oscura que se presenta en la historia de la ciencia tiene que ver con el descubrimiento del planeta Neptuno, a mediados del siglo pasado. Después del descubrimiento casual del planeta Urano por William Herschell en 1781, los astrónomos se percataron de que, con anterioridad, este planeta había sido observado por otros astrónomos, pero sin reconocerlo como planeta; sin embargo, como estrella su posición sí había sido registrada con precisión. Haciendo uso de estas observaciones, así como de las posiciones observadas por Herschell y sus contemporáneos, resultaba fácil para los astrónomos de entonces predecir las posiciones futuras de Urano, esto es, calcular sus efemérides. Con el paso del tiempo, la sorpresa de los astrónomos crecía, pues las posiciones predichas, con la ayuda de la ya muy confiable mecánica celeste, se desviaban más y más de las posiciones observadas, hasta alcanzar valores intolerables.

En forma independiente dos astrónomos, contemporáneos entre sí, abordan el problema. John Couch Adams en Cambridge, Inglaterra, y Urbain Jean Joseph Leverrier, en París, se plantean la hipótesis de que el movimiento anómalo de Urano es el resultado de perturbaciones gravitacionales producidas por un objeto desconocido, muy

probablemente otro planeta de gran masa. El complicado y laborioso análisis matemático del problema condujo a la predicción de las características orbitales del hipotético planeta, así como de su masa y brillo; ambos astrónomos promueven, en forma independiente, el que los observadores de la época buscaran al nuevo planeta en regiones restringidas del cielo predichas por la teoría. Adams enlistó el apoyo del astrónomo real de Inglaterra y de Challis del Observatorio de Cambridge, mientras que Leverrier, al no conseguir mucho apoyo entre los observadores del Observatorio de París, le escribe al astrónomo Johann Gottfried Galle, asistente del director del Observatorio de Berlín, indicándole: "Dirija su telescopio a un punto en la eclíptica en la Constelación de Acuario, a 326° de longitud y encontrará dentro de un grado de ese punto el nuevo



Cúmulo de galaxias en la constelación de la Virgen (Foto

* Instituto de Astronomía, UNAM. Miembro de El Colegio Nacional.

planeta, que tendrá la apariencia de una estrella de la novena magnitud pero con un disco perceptible . . ."

La noche del 23 de septiembre de 1846, y apenas a media hora de haber iniciado la búsqueda, el astrónomo Galle encuentra el nuevo planeta ya menos de un grado (a 52') del punto que Leverrier había indicado!

El éxito de los astrónomos berlineses en encontrar el nuevo planeta, Neptuno, se debió en buena medida a la disponibilidad en el Observatorio de Berlín de una moderna carta celeste, en la cual resultó relativamente fácil reconocer al "intruso" en el campo de observación. Por otra parte, los astrónomos de Cambridge escogieron el camino más lento al hacer su propia carta celeste de la región y comparar las posiciones de todas las estrellas en dos épocas distintas: al planeta se le reconocería por su movimiento relativo. De hecho, Neptuno ya había sido observado por Challis y registrado en su carta celeste, pero aún no había sido medido su movimiento y por lo tanto tampoco reconocido como planeta.

El descubrimiento de Neptuno es un buen ejemplo de la detección y cuantificación de materia desconocida, por sus efectos gravitatorios sobre objetos observables: al haber observado a Neptuno, a través del telescopio, dejó de ser materia oscura o desconocida, pues se le reconoció

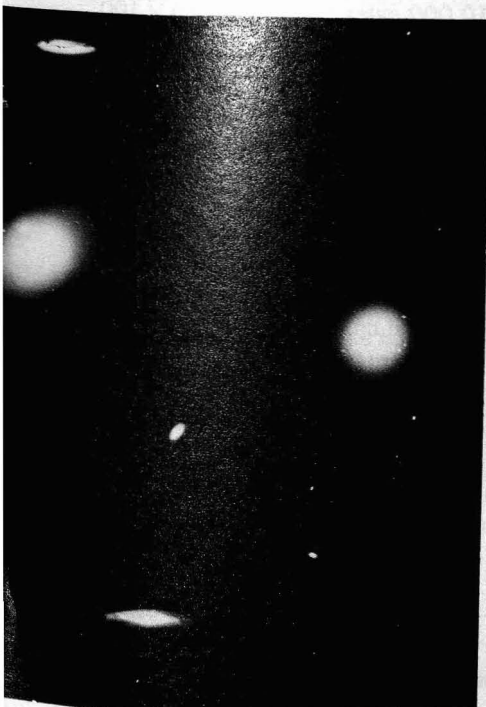
como uno más de nuestros planetas compuesto de materia ordinaria. El descubrimiento del siguiente planeta, Plutón, sigue un patrón semejante, pues de nueva cuenta Urano continuó exhibiendo perturbaciones, menores, que no eran explicables por la masa de Neptuno hasta que, en 1929, Clyde

Tombaugh observa a Plutón siguiendo las predicciones teóricas de Percival Lowell sobre su localización.

El siguiente paso en el estudio de la materia oscura lo encontramos al observar los movimientos de las estrellas vecinas. Con frecuencia ocurre que al estudiar cuidadosamente



El planeta Júpiter podría ser un ejemplo de la materia oscura en el Universo



Observatorio de Kitt Peak)



La galaxia de Andrómeda, primera galaxia espiral donde se encontró un gran halo masivo de materia oscura

el desplazamiento de las estrellas en la bóveda celeste encontramos que éste no es una línea recta, sino que más bien resulta una línea ondulada. El astrónomo alemán W. Bessel fue el primero que se enfrentó con este problema al tratar de interpretar el movimiento de Sirio. Bessel dedujo correctamente, en 1850, que Sirio debía tener una compañera oscura, cuyo brillo sería muy débil, razón por la cual había escapado a la observación. Algunos años después, en 1862, Alvan Clark, al probar un nuevo tipo de óptica astronómica, descubre la compañera de Sirio como una estrella unas diez mil veces más débil. Estudios posteriores del movimiento relativo de este par revelaron que la compañera tiene una masa apenas un poco menor que Sirio, de tal suerte que su poco brillo implicaba un radio muy pequeño y por lo tanto una densidad grandísima: en efecto, la densidad de la materia de la compañera de Sirio es de unas 10 000 veces la densidad del agua.

El descubrimiento de la compañera de Sirio planteó un problema fascinante: ¿de qué está hecha esta estrella? La ciencia no conocía entonces de ninguna materia o sustancia con una densidad tan grande. El misterio se resuelve años después, cuando el concepto de degeneración de la materia queda establecido. Las estrellas de masas semejantes a la del Sol, hacia el final de sus vidas, se contraen enormemente y aunque no generan ya energía termonuclear, pueden mantener un equilibrio contra la gravedad, que tiende a contraerlas hacia un radio cero, gracias a la presión de los electrones degenerados. Muchas estrellas como la compañera de Sirio han sido descubiertas y catalogadas, algunas con densidades aun mucho mayores que las de la compañera de Sirio (un millón de veces la del agua); a esta clase de estrellas, por su tamaño y sus colores (temperaturas) se les conoce como enanas blancas. A pesar de su gran densidad, están compuestas con los mismos átomos que conocemos en la Tierra: helio, carbono, oxígeno, hierro, etcétera.

El proceso evolutivo de las estrellas también puede producir cadáveres estelares aún más extraños: objetos más compactos que las enanas blancas, como son las estrellas neutrón y los hoyos negros. Una estrella

neutrón, como su nombre lo indica, está compuesta principalmente por estas partículas elementales y resulta de la muerte violenta de una estrella más masiva que 1.4 veces la masa del Sol. Al morir, estas estrellas producen una explosión gigantesca, conocida como Supernova. También como resultado de la muerte violenta de una estrella, se puede producir el más exótico de los objetos conocidos: el hoyo negro, donde el colapso de la materia es total y por lo tanto la fuerza de la gravedad es tan intensa, que ni la luz puede escapar de él; de ahí tan intimidante nombre.

Las enanas blancas, las estrellas neutrón y los hoyos negros son estados exóticos de la materia conocida en nuestros laboratorios; las condiciones extremas que se requieren para que la materia cambie a estos estados, son inalcanzables en la Tierra. En el Universo, sin embargo, pueden darse con frecuencia las condiciones apropiadas para crear estos objetos; es parte de nuestra tarea, aún en proceso, el establecer precisamente qué fracción de la materia del Universo se encuentra en esos estados.

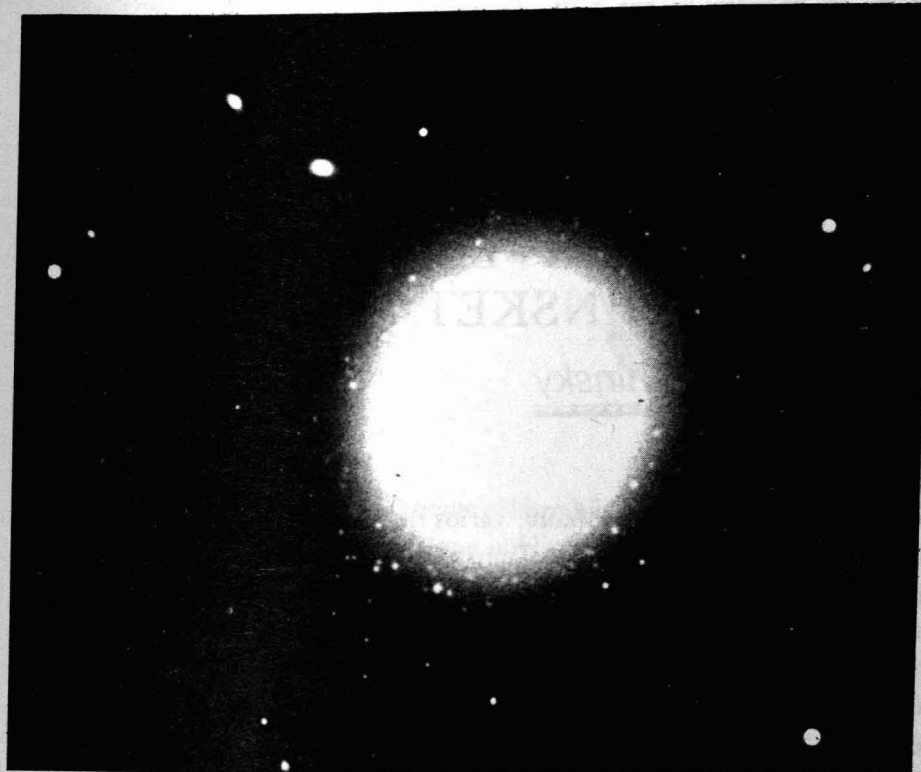
Los planetas, las enanas blancas, las estrellas neutrón y los hoyos negros son formas de la materia conocida que emiten muy poca o ninguna luz y, por lo tanto, su detección óptica resulta muy difícil o imposible; sabemos de su existencia por los efectos gravitatorios que ejercen sobre otros objetos que sí podemos observar y que se encuentran en su cercanía.

En 1932, el astrónomo holandés Jan Oort, al estudiar los movimientos de las estrellas en la cercanía del Sol (más precisamente sus oscilaciones a través del plano principal de nuestra galaxia), se percató de que las magnitudes de sus velocidades combinadas con la altura que alcanzaban sobre el plano de la galaxia, indicaban que la cantidad de materia en la cercanía del Sol es mayor que la que podemos observar en forma de estrellas. El método de Oort para determinar la densidad de materia en la vecindad solar es básicamente muy sencillo: podemos imaginar que las estrellas sean como pelotas de tenis en las manos de uno de esos equilibristas de circo que mantienen simultáneamente varias pelotas al aire. Cuando capturan una pelota la avientan en seguida hacia arriba con una velocidad constante; el mismo

equilibrista jugando en la Luna, donde la gravedad es menor, con el mismo impulso arrojaría las pelotas mucho más alto, de tal suerte que para una velocidad dada, la altura que se alcanza es tanto mayor cuanto menor sea la fuerza de gravedad; por otra parte, la fuerza de la gravedad depende de la cantidad de materia que esté atrayendo a las pelotas: a mayor masa (la Tierra) mayor es la atracción gravitatoria. Sustituyendo las pelotas por estrellas y la superficie de la Tierra por el plano de la galaxia, vemos cómo, en principio, se puede determinar la masa que hay en el plano de la galaxia. El método de Oort ha sido aplicado varias veces desde entonces, con mejores datos y con tratamientos teóricos más refinados, y continúa arrojando valores de la densidad de aproximadamente el doble de la densidad conocida en forma de estrellas (incluyendo enanas blancas), polvo y gas. Parece ser que en la cercanía del Sol (el Sol está ubicado prácticamente en el plano de la galaxia) existe materia oscura, no identificada, en una cantidad igual a la materia conocida.

El siguiente paso en el desarrollo de este problema se lo debemos al astrónomo suizo Fritz Zwicky, quien en 1933, al estudiar los movimientos de las galaxias en el cúmulo de galaxias situado en la Constelación de La Caverna de Berenice, encuentra que la masa de todo este enorme agregado de materia (formado por alrededor de 10 000 galaxias) es entre 10 y 100 veces mayor que la suma de las masas de todas las galaxias que contiene; en otras palabras, solamente entre el 1% y el 10% de la masa de este enjambre se encuentra en una forma que nos es conocida; el resto, aún en nuestros días, continúa siendo un misterio.

Después de estos dos descubrimientos fundamentales (el de Oort y el de Zwicky) pasó mucho tiempo antes de que se descubriera la existencia, en forma convincente, de materia oscura en otros sitios del Universo: así, no es sino hasta 1961 que el presente autor encuentra una extraña relación entre la eficiencia luminosa M/L de los diferentes sistemas estelares y su masa, en el sentido de que los sistemas más pequeños, por ejemplo los cúmulos globulares de estrellas, tienen una eficiencia M/L del orden de la unidad



M87, una galaxia esferoidal gigante (Foto: Observatorio de Kitt Peak).

(tomando como unidad de masa y de luminosidad la del Sol), mientras que los sistemas mayores y de mayor masa muestran eficiencias luminosas M/L del orden de varios cientos, lo cual indicaba claramente que la cantidad de materia oscura varía de sistema a sistema en una forma que depende de la masa y su extensión.

El siguiente paso en este misterio fue el descubrimiento de que las galaxias espirales (sistemas estelares similares al nuestro, i.e. a la Vía Láctea) tienen enormes halos de materia invisible que deja sentir sus efectos en los movimientos del gas, las estrellas y los cúmulos de estrellas inmersos en ellas. Morton S. Roberts, pionero en estos estudios, descubrió que en la Galaxia de Andrómeda, (ver figura 1) la velocidad de rotación del gas alrededor del centro permanecía constante hasta las mayores distancias (de su centro) a las que se podían realizar las observaciones; esto indicaba la presencia de grandes cantidades de materia. Para ilustrar este punto veamos lo que pasa en el sistema planetario. Fuera del Sol prácticamente no hay materia, lo cual hace que los planetas, al girar alrededor del Sol, lo hagan con velocidades decrecientes con la distancia (tercera ley de Kepler). Júpiter, por ejemplo, gira alrededor del Sol con una velocidad menor que la

mitad de la velocidad de la Tierra alrededor del Sol. La materia que hay que poner para mantener constante la velocidad de rotación en Andrómeda no tiene contraparte en la cantidad de luz observada. Más aún, a mayor distancia del centro de esta galaxia, mayor es el cociente M/L y, por lo tanto, mayor es la proporción de materia oscura.

Estudios posteriores de muchas otras galaxias espirales, particularmente los realizados por Vera Rubin y colaboradores, han mostrado que este fenómeno, la constancia de la velocidad de rotación y por lo tanto la existencia de materia oscura, está presente en la gran mayoría de las galaxias estudiadas, incluyendo la nuestra. Galaxias de otros tipos, así como grupos y cúmulos de galaxias, también contienen grandes cantidades de materia oscura. Finalmente, la cosmología moderna, en su afán por explicar ciertos fenómenos, como la isotropía de la radiación residual de la Gran Explosión, requiere una densidad promedio en el Universo entre diez y cien veces mayor que la que se puede explicar por la componente luminosa de las galaxias. Resumiendo, podemos entonces decir que en las galaxias, en los cúmulos de galaxias, y probablemente en el Universo en su conjunto, la mayor parte de la materia (entre el 90 y el 99%) es oscura y no

sabemos de qué está compuesta.

Mucho se ha especulado sobre la naturaleza de la materia oscura. Obviamente se puede clasificar las principales posibilidades en dos grandes grupos: a) materia conocida, y b) materia desconocida. La materia conocida, a su vez, puede ser de dos tipos: partículas pesada (bariones) como los protones y neutrones y partículas ligeras como los neutrinos. Las partículas pesadas podrían estar atrapadas en objetos no luminosos como los que examinamos al principio de este artículo, esto es, planetas o estrelluelas (oscuros, por no tener la masa suficiente para activar las reacciones termonucleares), enanas blancas, estrellas neutrón y hoyos negros. La posibilidad de que toda la materia oscura del Universo esté compuesta de protones y neutrones ha sido cuestionada, pues en este caso los modelos simples de la formación de los elementos ligeros en la Gran Explosión darían abundancias diferentes a las observadas; también hay dificultades con la isotropía de la radiación residual. Por otra parte, un Universo dominado por neutrinos no podría explicar los halos masivos de las galaxias, pues estas partículas se moverían con una velocidad mayor que la velocidad de escape; en otras palabras, se escaparían de las galaxias.

Los físicos, preocupados por unificar las fuerzas de la naturaleza, la gravitación, la fuerza electromagnética, las interacciones débiles y las fuerzas nucleares, han encontrado que la tan ansiada unificación se puede dar en los primeros momentos de la expansión del Universo y que un sub-producto de esta fase del Universo sería la producción copiosa de numerosas partículas, algunas de las cuales podrían tener las propiedades necesarias para explicar la materia oscura.

En la actualidad, ninguna de estas partículas exóticas ha sido observada y en verdad sus hipotéticas propiedades son bastante inciertas y arbitrarias, de tal suerte que la pregunta con la que iniciamos este artículo aún no encuentra respuesta, pero sí nos lleva a la intrigante reflexión de que la búsqueda del conocimiento sobre la estructura y composición del Universo en su conjunto nos lleva al estudio del microcosmos en los primeros instantes del nacimiento del Universo. ♦