

# INTRODUCCIÓN A LA ASTRONOMÍA

A. César González García

31 Enero 2008

## FUNDAMENTOS FÍSICOS

### ¿Qué es la ASTRONOMÍA?

En las próximas semanas en que se desarrollará este curso, vamos a adentrarnos en la orilla del Océano Cósmico, para, como dice el título del curso, introducirnos en la ciencia que lo estudia: La Astronomía. En esta primera clase, vamos a introducir una serie de conceptos que nos serán útiles a lo largo del curso, ya que serán utilizados y mencionados a menudo.

Pero, lo primero es definir qué es la Astronomía. Esta ciencia nace como tal ya en la Antigüedad. Existe un debate en la comunidad de historiadores de la ciencia sobre si ya los babilonios hacían ciencia con sus conocidos saberes astronómicos. Ellos sabían predecir las posiciones del Sol, la Luna, y los planetas conocidos (Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno), ya que tras varios siglos de observación habían encontrado ciertos modelos matemáticos que les permitían calcular dónde se vería tal planeta al día siguiente. Si bien, según parece, eso no lo extrapolaron a ningún modelo sobre cómo funciona el Cosmos. Este paso, en cambio, sí lo dieron los filósofos griegos, y por ello son reputados como los ‘fundadores’ de esta ciencia.

Desde el punto de vista actual, el concepto de ciencia con su método de trabajo, que veremos más adelante, no aparece hasta el Renacimiento, cuando sobretodo Galileo Galilei realiza una serie de experimentos y observaciones, que sintetiza en varias hipótesis y plantea experimentos para comprobarlas. Kepler, Newton, Herschel, Gauss y muchos contemporáneos suyos y otros posteriores sentaron las bases de lo que hoy es la Astronomía.

Referencias para ampliar:

<http://www.astronomia.com/historia/>

*The Cambridge Concise History of Astronomy*, M. Hoskin, Cambridge Univ. Press, 1999

Pero vamos a definir lo que entendemos por Astronomía y vamos a ver varios conceptos relacionados, pero diferentes.

Para definir Astronomía podemos buscar en el diccionario de la Real Academia de la Lengua y encontramos lo siguiente:

## – RAE

- (Del lat. astronomía, y este del gr. ἀστρονομία).
- 1. f. Ciencia que trata de cuanto se refiere a los astros, y principalmente a las leyes de sus movimientos.

Es decir, la Astronomía estudia los cuerpos celestes, pero sobretodo va a enfocarse en estudiar cómo se mueven estos cuerpos.

Si buscamos en una de las fuentes de consulta más utilizadas estos días veremos lo siguiente:

## – Wikipedia

- Ciencia que se ocupa del estudio de los cuerpos celestes, sus movimientos, los fenómenos ligados a ellos, su registro y la investigación de su origen a partir de la información que llega de ellos, a través de la radiación electromagnética o de cualquier otro medio

Es una definición más detallada, pero básicamente es la misma: estudia los astros, sus movimientos y fenómenos relacionados.

Algo peculiar de esta ciencia y de su nombre es que está formado por dos vocablos griegos: Astros, que nos habla de los cuerpos celestes y -nomía que nos habla del estudio de los nombres de ellos. La peculiaridad del nombre resalta al compararlo con otras áreas científicas: geología (estudio de la tierra), biología (estudio de la vida), filología (estudio de la lengua), etc... El sufijo -logía en griego nos habla de ‘estudio’ o ‘conocimiento’. ¿Por qué entonces no hablamos de Astrología?

## ¿Por qué Astronomía?

### ¿Por qué Astronomía y no Astrología?

En numerosas ocasiones se oye decir que en la Antigüedad Astrología y Astronomía eran una misma cosa, y que el estudio de los astros se hacía ya que resultaba útil a los poderosos ‘saber’ qué iba a ocurrir en un futuro y para eso pagaban a arúspices, magos y astrólogos para que hicieran sus predicciones. Esto es cierto, pero solo en parte. Es cierto que, por ejemplo en tiempos de los romanos sus magistrados y los emperadores esperaban a tener buenos presagios para tomar tal o cual decisión. Pero no es cierto que el estudio de los astros estuviera SOLO dirigido a este cometido. De hecho algo fundamental en cualquier sociedad desde el Neolítico es saber cuándo es la época de sembrar o cosechar los campos. Esto se puede dejar al campesino para que se las apañe, pero en general el que controla la producción de alimentos es el que detenta el poder, y saber de antemano cuándo realizar las labores del campo es pues una fuente de saber asociada al poder. Este saber en muchas ocasiones se realizaba por medio de observaciones astronómicas. Así Hesíodo, recogiendo probablemente saberes mucho más antiguos nos dice que las épocas de siembra y cosecha

se conocen gracias a ciertas posiciones concretas de las Pléyades (un grupo de estrellas muy conocido, a veces se las llama las siete hermanas, las cabrillas...) con respecto al Sol. Otro aspecto relevante es la fijación de un calendario, para el cual se hace necesaria la observación astronómica. Nótese que estas actividades son eminentemente prácticas y no están para nada relacionadas con predecir si en el futuro el día será propicio o no para invadir la ciudad vecina o para casarse con la princesa Tal.

¿Entonces de dónde viene esa distinción entre Astronomía y Astrología? El primero que hace una distinción entre ambas ciencias es el sabio Hispanorromano Isidoro de Sevilla en tiempos de los Visigodos. En su obra 'Etimologías' estudia el origen de diversas palabras, y así nos habla de la Astronomía y la Astrología:

– San Isidoro de Sevilla (s. VII), *Etimologías*

- *Astronomía*: es un **saber abstracto** que se dedica al conocimiento de los movimientos y mutaciones del cielo.
- *Astrología Natural*: un conjunto de conocimientos dentro de la Astronomía, pero con **carácter práctico** en vez de abstracto, dedicados a la observación del camino del Sol y de la Luna, y de determinadas posiciones de las estrellas.
- *Astrología supersticiosa*: que se dedica a **predecir el futuro** a través de las estrellas, a asignar una parte del alma y los miembros del cuerpo y a ordenar el nacimiento y costumbres de los hombres según los doce signos del cielo.

Es decir, Isidoro de Sevilla distingue entre Astronomía, un saber abstracto o en otras palabras, un saber que se dedica a teorizar y modelizar cómo funcionan los astros, y sus movimientos, y Astrología. Y dentro de esta aun separa dos ramas, una práctica, dedicada a observar los movimientos de los astros y que por tanto suministra los 'datos' que luego la Astronomía ha de explicar, y otra supersticiosa dedicada a la predicción del futuro.

A lo largo de la Edad Media dentro de los estudios de la Escolástica las ciencias se estudiaban en un cuerpo de cuatro materias llamado el Quadrivium. Una de estas ciencias era la Astrología. Esta se concebía según la definición de Astrología Natural, es decir observar y anotar cómo se mueven los planetas, pues existía un modelo aceptado que era el geocéntrico de Ptolomeo. Sin embargo a partir del Renacimiento, como dijimos antes, la Astronomía, basada en esas observaciones empieza a realizar modelos más ajustados a la realidad y toma relevancia, incorporando a la Astrología Natural dentro de ella, al compaginar ambas en un mismo cuerpo teórico y dejando pues el nombre de Astrología para lo que definiera Isidoro de Sevilla como supersticiosa.

Sin embargo, hoy en día cuando hablamos de Astronomía, al menos a nivel profesional, uno se suele referir (y así lo demuestra la definición de la RAE que vimos antes) al conocimiento de los movimientos de los astros. El conocimiento de cómo funcionan esos astros, cómo se formaron, cuándo, etc, se engloba en lo que se denomina Astrofísica.

# Un nuevo término: Astrofísica

Veamos de nuevo una definición de este campo según la Real Academia:

## RAE

### – Astrofísica:

- (Del fr. *astrophysique*, der. del gr. *ἄστρον*, estrella, y el fr. *physique*, física).
- f. Parte de la astronomía que estudia las propiedades físicas de los cuerpos celestes, tales como luminosidad, tamaño, masa, temperatura y composición, así como su origen y evolución.

Es decir, estudiamos sus propiedades físicas, su origen y su evolución, y esto es básicamente lo que vamos a ver a lo largo de este curso.

La Astrofísica como tal es una ciencia relativamente nueva ya que el poder estudiar las propiedades físicas de los astros no se pudo hacer hasta hace aproximadamente unos 150 años, con la introducción de técnicas de observación que permitieron tal hecho.

## ¿Por qué la Física?

La Física intenta responder a algunas preguntas fundamentales como ¿Cómo funcionan las cosas? Así podemos decir que la Física es una ciencia que estudia las propiedades medibles de la materia. O más en concreto:

- Ciencia que estudia los componentes de la materia y sus interacciones mutuas, explicando las propiedades de la materia en conjunto.

De esta manera la Física estudia la materia, sus propiedades, sus interacciones, sus cambios y lo hace de lo más grande a lo más pequeño.

Al ir de lo más grande a lo más pequeño hemos de tomar una referencia y una manera de escribir las cosas. La referencia es la unidad que tomamos para comparar lo que medimos y saber de qué estamos hablando. Por ejemplo cuando decimos que una puerta mide dos metros, estamos comparándola con una medida estándar, que en su día se definió como una vara que existe en un museo en París de una longitud determinada. Al decir ‘mide dos metros’ lo que estamos diciendo es que su altura es dos veces la longitud de esa vara de París. Y así para cualquier unidad ya sea de longitud, temperatura, tiempo, etc.

La otra cosa que hemos de utilizar es una notación que nos simplifique la vida. Por ejemplo, el radio de la Tierra es de unos 6000000 metros. Esto lo podemos simplificar de dos maneras. Una es utilizando los prefijos de cantidad: en el ejemplo anterior podríamos

también decir que el radio de la Tierra es de unos 6000 kilómetros. Kilo es el prefijo que viene a decir ‘mil veces’. En la tabla adjunta se dan diferentes prefijos utilizados.

Múltiplo	$10^{12}$	$10^9$	$10^6$	$10^3$	$10^2$	$10^1$	$10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-6}$	$10^{-9}$	$10^{-12}$
Prefijo	tera	giga	mega	kilo	hecto	deca	deci	centi	mili	micro	nano	pico

Otra manera de simplificarlo es utilizando lo que se conoce como notación científica. Esta notación hace uso de lo que se conoce como potencias de 10. Una potencia es un número elevado a otro, es decir  $2^3$  es dos elevado a tres, que nos indica que hagamos la operación  $2 \times 2 \times 2$ . Las potencias de 10 tienen como base el 10 y así podemos expresar distintos números que de otra manera quedarían muy largos en esta notación. En el ejemplo anterior podríamos poner:  $6 \times 10^3$  kilómetros ó  $6 \times 10^6$  metros.

Como hemos dicho ya varias veces, la Astrofísica y la Física se basan en la aplicación del método científico. Veamos a continuación cómo funciona este método.

## El método científico

En el Renacimiento y fundamentalmente tras los trabajos de Galileo, se van fundando las bases de lo que conocemos hoy como método experimental o método científico. Si bien, existen variaciones en cómo aplicar este método, incluso en diferentes versiones del método, incidiendo más en la parte experimental o teórica del mismo, cualquier rama de la ciencia se basa en el siguiente ciclo:

### Experimentación-teoría-comprobación

Es decir, unos experimentos iniciales no aportan una serie de datos que hemos de explicar con una determinada teoría. Esta teoría, para ser válida debe plantear una serie de nuevos experimentos para poder ver si no es verdadera. En caso de que no lo sea, tenemos nuevos datos, a partir de los nuevos experimentos más los datos iniciales, con los que plantear una nueva teoría. Y de nuevo ¡comprobar si funciona!

Un ejemplo de este ‘ciclo’ sería la Teoría de la Gravedad. A partir de las observaciones de Galileo sobre la caída de los cuerpos y de Kepler sobre los movimientos de los planetas, Isaac Newton en el siglo XVIII planteó una hipótesis para explicar dichos movimientos y así postuló que esos movimientos se debían a la existencia de una fuerza que actúa de manera proporcional a las masas de los cuerpos implicados e inversamente proporcional al cuadrado de las distancias que los separaban.

Esta teoría una vez desarrollada, por ejemplo, predijo la existencia del planeta Neptuno, que fue descubierto unos años después de esta predicción, lo que fue un espaldarazo para la teoría de la Gravedad de Newton. Sin embargo, a finales del siglo XIX se plantearon una serie de experimentos y observaciones que la teoría de Newton no podía explicar. Por ejemplo, uno de ellos era un movimiento peculiar del planeta Mercurio que no tenía cabida en esta teoría.

Esto hacía que la teoría de Newton no fuera del todo válida. Esto llevó a Albert Einstein a estudiar de nuevo todos los datos, viejos y nuevos y a plantear su ya famosa Teoría de la Relatividad General. Esta teoría engloba la anterior de Newton y la modifica de forma que sí es capaz de explicar por ejemplo el movimiento peculiar de Mercurio. Los físicos no hemos desechado la teoría de Newton del todo, ya que una de las cosas que hace la teoría de Einstein es que, en ciertos ámbitos es básicamente la Newton, mientras que en otras introduce unas ciertas modificaciones fundamentales. La teoría de Einstein además hace varias predicciones que se han comprobado experimentalmente y que hasta el momento no han dado al traste con esta teoría.

El uso de este método es algo que distingue a la Ciencia de otros campos que se enmarcan en lo que conocemos como pseudociencia. Así, mientras la Ciencia se basa en el método científico, y por tanto propone teorías 'falsables', en la pseudociencia las teorías que propone no son falsables.

Referencias para ampliar:

<http://www.iac.es/cosmoeduca/gravedad/complementos/enlace8.htm>

## Cosmología

En la segunda parte de este curso nos vamos a interesar en las siguientes preguntas:

### – ¿Cómo se formó todo lo que nos rodea?

A esta pregunta intenta dar respuesta una rama de la Astrofísica que se denomina Cosmología. Esta ciencia se dedica precisamente a eso, al estudio del origen, la evolución y el destino del Universo.

Babilonios, Egipcios, Judíos, Griegos, Romanos, todos tenían sus propias ideas sobre cómo se formó el Universo. En general, estas ideas implicaban ciertas imágenes que hoy nos pueden parecer pintorescas, involucrando a unos dioses con características netamente humanas, que en una de sus veleidades creaban un mundo donde ejercer su poder.

Los filósofos griegos, de nuevo, fueron tal vez los primeros en mirar este tema desde otro punto de vista, sin meter la mitología de por medio e intentando explicar lo que veían. De ellos nació, fundamentalmente de los trabajos de Platón y Aristóteles, la idea de que el Universo fue creado y estaba regido por un 'demiurgo', un ser o ente con plenos poderes, que había puesto todo en marcha.

Esta idea fue recogida y reflejada en el Cristianismo, que durante la Edad Media rigió la manera de pensar y explicar todo lo que nos rodea. De nuevo con el Renacimiento aparecen otras formas de plantear este problema.

No es sino hasta el siglo XX, con el descubrimiento de que no estamos en una posición para nada central en el Universo, que nuestro Sistema Solar, es una parte minúscula, en las

afueras de una Galaxia normal, tirando a pequeña, en una zona relativamente pobre en Galaxias, a las afueras de nuevo de una agrupación más grande, dentro de un Universo en expansión, en que provistos de la teoría de la Relatividad de Einstein, nos hemos atrevido a plantear un modelo sobre cómo se formó y cómo ha evolucionado el Universo. Sobre esto versará la segunda parte de este curso.

Referencias para ampliar:

<http://www.iac.es/cosmoeduca/relatividad/charlahisto.htm>

Vamos a hora a introducir una serie de conceptos que nos van a ser útiles a lo largo del curso.

## Conceptos físicos: Espacio

Al hablar de espacio podemos pensar en él como allí por donde viajan las naves espaciales, o tal vez como un sitio concreto, una localización.

Espacio tiene muy diversas acepciones, sin embargo el espacio físico es aquello en que nosotros nos movemos y donde sentimos por ejemplo la luz del sol. Así una definición precisa podría ser la siguiente:

- **Espacio:** la extensión formada por una estructura de varias dimensiones que es ocupada por los cuerpos, sus trayectorias, la radiación, las ondas etc.

En la física clásica se dice que el espacio es euclideo, es decir que obedece los postulados enunciados en la Antigüedad por el matemático griego Euclides. En este espacio cualquier punto puede ser representado por tres coordenadas, por ejemplo arriba, izquierda y derecha.

## Conceptos físicos: Tiempo

Otro concepto difícil de definir es el Tiempo. Si lo intentamos nos viene a la mente el concepto de fluir, tal vez de un río, de un antes, un presente y un después. Sin embargo esto entra dentro muchas veces del campo de la filosofía más que el de la ciencia. Una posible definición puede ser:

- **Tiempo:** magnitud física que mide la duración o separación de las cosas sujetas a cambio.

Algo más intuitivo parece definir el intervalo de tiempo como el período que transcurre entre el estado X de un sistema y un estado Y diferente al anterior.

El Tiempo es un concepto que nos permite ordenar los sucesos en secuencias, lo que sucedió antes, o lo que sucedió en el pasado, lo que sucede en el presente y lo que sucederá en el futuro. Y es, en definitiva, el que rige el conocido como principio de causalidad: Todo efecto tiene su causa en un fenómeno anterior.

Según la Física clásica, la que definió Newton, el tiempo es una magnitud absoluta e independiente del espacio. La medida de un intervalo de tiempo es independiente del observador. Si medimos cuanto tarda en caer un objeto, da igual donde nos situemos, siempre mediremos que tarda en caer el mismo intervalo de tiempo.

Sin embargo la Física relativista, la que se desarrolla a partir de los postulados de Einstein, nos dice que el tiempo es una magnitud relacionada con el espacio (aparece pues el concepto de espacio-tiempo). Según la Teoría de la Relatividad, la medida de un intervalo de tiempo depende de cómo se mueva el observador. Un observador en reposo con respecto al objeto que se cae, medirá un tiempo diferente que un observador que se esté moviendo. De esta manera el tiempo no es algo absoluto e igual para todos, sino que como depende de cómo se mueva el observador, será algo relativo. Si bien, para apreciar este efecto es necesario moverse a muy alta velocidad, este es uno de los experimentos que ya han sido comprobados, por ejemplo en aviones a reacción, en cohetes y en la física de partículas.

Referencias para ampliar:

<http://www.iac.es/cosmoeduca/relatividad/especial/index>

## Conceptos físicos: Materia

Una vez que hemos definido el espacio y el tiempo tenemos que definir aquello que vemos realmente, es decir la materia:

– **Materia:** Es todo lo que constituye el Universo observable y junto con la energía constituye la base de todos los fenómenos.

La materia es pues todo con lo que podemos experimentar y sacar conclusiones y, como vimos en la definición de Física, será aquello que es objeto de estudio por esta ciencia.

Actualmente sabemos que los constituyentes básicos de la materia son los átomos, sobre los que volveremos más adelante. Si bien, como sabemos, hay distintas formas de materia, toda materia comparte ciertas propiedades fundamentales. Una de ellas por ejemplo es la gravitación que hemos estudiado antes. Da igual que tengamos un kilo de arena o un kilo de plomo, la atracción mutua entre este kilo de materia (arena o plomo) con la Tierra es la misma.

La materia sabemos que puede presentarse en lo que llamamos estados de agregación. Los más conocidos son los estados de sólido, líquido y gas. Por ejemplo, el agua puede presentarse en forma sólida (hielo), líquida (agua) o gas (vapor de agua). Sus propiedades



cambian con el cambio de estado. Existen otros estados de agregación de la materia que son importante en Astrofísica, por ejemplo el plasma, que es el estado en que se presenta la materia en el interior de las estrellas, en unas condiciones que es difícil reproducir en el Tierra.

Según Einstein y su famosa fórmula,

$$E=mc^2,$$

donde  $c$  es la velocidad de la luz en el vacío, la materia (o su masa) y la energía son equivalentes e intercambiables. Esto permite por ejemplo que una pequeña cantidad de Uranio (en forma material) por medio de las reacciones que ocurren en un reactor nuclear se convierta en una gran cantidad de energía. Este mismo principio, como veremos, rige en el interior estelar, para producir la energía que nos llega en forma de luz y calor del Sol.

## Conceptos físicos: Inercia y Masa

Hemos oído hablar en numerosas ocasiones de inercia. Es común la expresión: ‘iba en el autobús y la inercia hizo que me cayera’. Cómo podemos definir la inercia:

- **Inercia:** Propiedad de un cuerpo por virtud de la cual se opone a cualquier agente que intente ponerlo en movimiento o cambiar la magnitud y dirección de su velocidad.

Por tanto, en el ejemplo anterior del autobús, la inercia es lo que hace que si el autobús frena nosotros tendamos a seguir moviéndonos de la forma en que lo hacíamos antes de que el autobús frenara.

Al hablar de materia hemos hablado de masa, pero una propiedad de la masa que la relaciona con la inercia es que gobierna la resistencia a la acción de una fuerza. Como veremos a continuación, cuanto más masa tenga un cuerpo mayor ha de ser la fuerza ejercida para moverla con una determinada aceleración. En principio, se supone que la masa es una magnitud absoluta, y en física clásica trabajamos con el principio de conservación de la masa, sin embargo hemos visto que según Einstein, esto también es relativo, conservándose la masa-energía.

## Conceptos físicos: Fuerza

El concepto de fuerza ya es algo al que estamos más acostumbrados, pues sabemos que para levantar un peso, empujar un coche, o para retorcer un hierro forjado hemos de ejercer una determinada fuerza. Así pues definimos:

- **Fuerza:** es una acción que tiende a mantener o alterar la posición de un cuerpo o a distorsionarlo.

Las Fuerzas y cómo tratarlas ya fueron analizadas por Aristóteles en la antigüedad, pero de nuevo es Newton el que sintetiza las leyes que gobiernan cómo actúan las fuerzas en sus conocidas tres leyes:

### Leyes de Newton:

- Un cuerpo en reposo o en movimiento rectilíneo y uniforme se mantendrá en este estado hasta que se aplique una fuerza sobre él.
- Toda fuerza aplicada sobre un cuerpo produce una aceleración en dicho cuerpo que es directamente proporcional a la magnitud de dicha fuerza e inversamente proporcional a la masa de dicho cuerpo.
- Toda acción produce una reacción.

No es el objetivo de esta clase discutir estos principios (véanse las referencias) sin embargo estas sencillas leyes gobiernan un área de la Física llamado mecánica clásica que tiene aplicación directa en la Astrofísica.

Algunos conceptos que es necesario introducir al hilo de estas leyes son:

- **Velocidad:** cantidad que nos dice cuán rápido y en qué dirección se mueve un punto.
- **Aceleración:** es la 'velocidad' a la que cambia la velocidad de un cuerpo.

Referencia para ampliar:

*Física, Vol. I: Mecánica*, M. Alonso y E.J. Finn, Addison-Wesley, 1986; Capítulo 7

## Conceptos físicos: Energía

Más arriba hemos visto que según Einstein masa (o materia) son equivalentes a la energía. Al hablar de energía nos imaginamos la electricidad que nos permite tener luz en casa o el petróleo que hace que se muevan nuestros coches. O tal vez las energías alternativas. Sin embargo, estas no son las únicas formas de energía. De hecho su definición física

- **Energía:** Capacidad de un cuerpo para realizar trabajo.

Permite que todo cuerpo tenga dicha capacidad. Por ejemplo, un cuerpo en reposo a una determinada altura tiene una capacidad para realizar trabajo que se llama energía potencial gravitatoria. Si cae, esta energía potencial, se transforma en energía de movimiento, o energía cinética y por rozamiento con el aire, perderá también parte de esa energía como energía calorífica. Podemos ver entonces que existen muy diversas formas de energía: potencial, cinética, eléctrica, química, nuclear... Unas formas especiales de energía son el calor y el trabajo que se definen como la energía en el proceso de transferencia de un cuerpo a otro.

Con este concepto de energía ya disponemos de las herramientas básicas para continuar y lo vamos a hacer empezando por lo más pequeño, los constituyentes más diminutos de la materia, que como hemos visto antes son los átomos.

## Elementos y átomos

Otra pregunta básica a la que trata de responder la Física es la de: ¿de qué estamos hechos?

Volvamos a los filósofos griegos. Ellos parecen ser los primeros en plantearse este dilema. Así Tales de Mileto a partir de la observación desde su ciudad costera deduce que el principio último de todas las cosas debía ser el agua.

El no fue el único, otros sabios decidieron que ese principio último debía ser o bien el aire, la tierra o el fuego. Surge pues con ellos el concepto de que toda la materia y sus propiedades se puede explicar por medio de esos cuatro elementos. Finalmente, Aristóteles los sitúa en diversas posiciones en su modelo del mundo y explica los movimientos de los cuerpos por una tendencia natural de ellos a ir a la parte del mundo dominada por el elemento del que están hechos. Por ejemplo, las llamas tienden a ascender ya que la esfera del mundo dominada por el fuego es la última y más alejada allá en el cielo.

Sin embargo esta no fue la única idea para explicar las propiedades de los cuerpos. Ya en el siglo V, Demócrito de Abdera postuló que los constituyentes más pequeños de la materia debían ser pequeñas bolas indivisibles minúsculas a las que denomino átomos, literalmente en griego: indivisibles.

Hoy sabemos que existen los elementos, si bien no son los 4 postulados por los griegos. A todos nos suenan el hidrógeno, el oxígeno, el nitrógeno, etc. Actualmente se conocen más de 110 elementos, cuyos constituyentes básicos son los átomos. La rama de la física que estudia cómo se comportan los átomos y las partículas fundamentales se conoce como Física Cuántica.

# El átomo

Como hemos visto, ya desde Demócrito existe el concepto de átomo como la unidad fundamental de la materia, si bien hasta finales del siglo XIX no es aceptada de forma generalizada por la comunidad científica, pues parecían existir explicaciones alternativas.

Hoy conocemos que el átomo es la unidad más pequeña en que se puede dividir la materia sin que se emitan partículas cargadas eléctricamente. Además es la unidad más pequeña de materia con las características propias de un elemento.

Un átomo está compuesto básicamente de vacío y varias partículas, llamadas subatómicas. Cerca del centro del átomo existe un núcleo denso compuesto por neutrones y protones. Los neutrones y los protones tienen prácticamente la misma masa, pero mientras que los neutrones tienen carga eléctrica neutra, los protones tienen carga positiva. Estas partículas, también llamadas nucleones, son diminutas, pero extremadamente masivas. Prácticamente toda la masa (99.9%) del átomo está en ellas, si bien solo ocupan en torno a un 10% en volumen.

El núcleo está rodeado por una nube difusa de electrones, partículas con una carga negativa y con una masa muchísimo más pequeña que la de los nucleones. Un átomo tiene el mismo número de electrones que de protones, resultando pues que su carga eléctrica neta es neutra.

Los átomos de los distintos elementos se pueden caracterizar por dos números, que se conocen como el número atómico y el número másico. El número atómico, representado como  $Z$ , es el número de protones de su núcleo, y es el número más característico y el que nos va a decir si, por ejemplo, tenemos hidrógeno ( $Z=1$ ) o helio ( $Z=2$ ). El número másico por otro lado nos va a dar el número total de nucleones que tenemos, es decir, la suma de protones y neutrones, se suele representar con la letra  $A$ .

En el caso del hidrógeno, que es el elemento más abundante en el Universo, su número atómico es 1, es decir tiene un protón y lo más normal es que no tenga ningún neutrón, así su número másico es 1 también. Sin embargo a veces aparece una especie de hidrógeno que tiene un neutrón en el núcleo. Este tipo de hidrógeno se llama Deuterio. El deuterio y el hidrógeno se comportan básicamente igual, pero su número másico (y su peso) son distintos ( $A=2$  para el deuterio). Las especies de un mismo elemento con distinto número másico se conocen como isótopos. Los isótopos tienen características químicas idénticas pero tienen propiedades nucleares diferentes entre sí. Con frecuencia estos isótopos no son elementos estables y para convertirse en estables deben transformar un neutrón en un protón, mediante una reacción de física de partículas. Estos elementos se conocen como radiactivos. Unos de estos isótopos muy famosos es el  $C^{14}$  que se utiliza por ejemplo para datar muestras arqueológicas.

En ocasiones, un átomo puede perder o, tal vez, ganar un electrón para su nube, en estos casos el átomo estará cargado positiva o negativamente y hablaremos de que lo que tenemos es un ión.

La física cuántica nos dice que los electrones de un átomo no pueden estar en cualquier estado dentro de ese átomo sino que tienen, por así decir, unos sitios definidos. En el estado normal estos electrones se disponen de manera que ocupan los orbitales con menor energía. Es como si tuviéramos a nuestra disposición un teatro con 1000 butacas y solo somos 10 personas. El principio anterior nos diría que los 10 tenderíamos a estar en las primeras butacas. Sin embargo tenemos a nuestra disposición muchas más, así que en un momento determinado podemos irnos a una butaca situada dos o tres filas más atrás. Esto también ocurre con los electrones en el átomo. Debido a diversas interacciones con otras partículas pueden moverse a un orbital superior. Para ello deben ganar energía. Esta energía se puede transferir por medio de un choque o por medio de la absorción de un fotón, es decir de una partícula de luz. Sin embargo ese estado, conocido como estado excitado, no es estable ya que el electrón tenderá a su posición en el orbital de menor energía emitiendo para ello un fotón de luz. Este mecanismo por ejemplo es el que permite lucir a los tubos fluorescentes.

Referencia para ampliar:

[http://concurso.cnice.mec.es/cnice2005/93\\_iniciacion\\_interactiva\\_materia/curso/materiales/atomo/modelos.htm](http://concurso.cnice.mec.es/cnice2005/93_iniciacion_interactiva_materia/curso/materiales/atomo/modelos.htm)

<http://www.monografias.com/trabajos/atomo/atomo.shtml>

## La luz

En astrofísica recibimos la mayor parte de la información por la luz (aproximadamente el 99% de los datos). Así pues es importante conocer cómo y de donde viene esa luz.

La luz, durante mucho tiempo no estuvo claro si tenía naturaleza de partícula o de onda, pues en unos experimentos se comportaba como una onda mientras que en otros se podía explicar los resultados si la luz estuviera formada por pequeños corpúsculos. Finalmente la física cuántica resolvió el dilema dándole ambas naturalezas, como onda electromagnética y como partícula o cuanto llamado fotón.

La radiación electromagnética es una combinación de campo eléctrico y magnético oscilantes que mueve por el espacio llevando una energía. En determinados experimentos esta radiación se puede ver como un chorro de partículas llamados fotones.

En su forma ondulatoria y, como toda onda, vendrá definida por su longitud de onda (con unidades de longitud) o el inverso de esta, la frecuencia.

Dependiendo de la energía que transporte tendrá una longitud de onda (o frecuencia) distinta. Al conjunto de las diferentes longitudes de onda se le llama espectro electromagnético que va desde las ondas de radio (con longitudes de onda desde el km), las microondas (con longitudes del micrómetro), la luz infrarroja (que nosotros detectamos como calor), la luz visible, a la cual son sensibles nuestros ojos, la luz ultravioleta, los rayos X o los rayos gamma. Estos últimos son las partes más energéticas del espectro, pues existe una relación entre la energía y la frecuencia, según la cual:

$$E = h \cdot \nu$$

Donde  $h$  es una constante llamada la constante de Plank.

Una característica importante de la luz es su velocidad. Esta es de  $300.000 \text{ km s}^{-1}$  en el vacío. Según la Teoría de la Relatividad Especial de Einstein esta es la máxima velocidad a la que se puede transmitir información, suponiendo pues un límite físico. Por otro lado la relación entre longitud de onda y frecuencia es:

$$c = \lambda \cdot \nu$$

Donde  $c$  es la velocidad de la luz en el vacío.

## Partículas subatómicas

Así pues, sabemos ya que un átomo se compone de neutrones, protones y electrones. Pero, ¿son estos los componentes últimos de la materia? Cuando se descubrió el neutrón en 1932 así parecía y los físicos estaban contentos pues con variaciones de tres simples partículas podía explicar las propiedades de toda la materia. Sin embargo la situación ha ido cambiando con el desarrollo desde entonces de la física de partículas. Por un lado se realizaron experimentos en laboratorios especializados llamados aceleradores de partículas así como observaciones de fenómenos astrofísicos, para los cuales hacía falta introducir nuevas partículas. Al mismo tiempo se desarrollaba la teoría para explicar esos experimentos, la mecánica cuántica.

Así esta teoría ahora nos dice que protones y neutrones son combinación de otras más pequeñas llamadas quarks. Por otro lado, los electrones, junto con otras partículas llamadas muón y leptón tau, y que en grupo se les conoce como leptones serían otro de los grupos fundamentales de partículas. Por tanto quarks y leptones, junto con las partículas que son las responsables de transmitir las distintas fuerzas fundamentales son las postuladas ahora como partículas fundamentales.

## Fuerzas fundamentales

Acabamos de ver que uno de los grupos de partículas fundamentales es el que transmite las interacciones fundamentales. Esto pretende responder a otra pregunta importante ¿Cuántas fuerzas hay en la naturaleza? Hemos hablado ya de la gravedad, es decir la fuerza con la que se atraen dos cuerpos por el mero hecho de tener masa.

Sabemos que otra característica de los cuerpos es su carga eléctrica. Un cuerpo cargado negativamente atraerá (o sentirá repulsión) por otro cargado positivamente (negativamente) con una intensidad que es directamente proporcional a la magnitud de sus cargas e inversamente proporcional al cuadrado de sus distancias (Ley de Coulomb). Así la fuerza electromagnética es otra de las fuerzas fundamentales.

Otra de las fuerzas fundamentales de la naturaleza es la fuerza conocida como fuerte y que es la responsable de que los nucleones de un átomo estén pegados entre sí.

Finalmente la cuarta de las fuerzas fundamentales se conoce como fuerza débil. Ésta es la responsable de una reacción que hemos nombrado más arriba, la de desintegración de un neutrón, que pasa a transformarse en un protón emitiendo un electrón y un neutrino, y la reacción inversa. Esta fuerza (por medio de esta reacción) es la que hace posible la producción de energía en el Sol, como se verá en el curso.

Actualmente se trabaja en encontrar si estas cuatro fuerzas se pueden sintetizar en una sola, en lo que se conoce como teorías de gran unificación. De hecho ya se ha logrado demostrar, tanto teórica como experimentalmente que la fuerza electromagnética y la fuerza débil son una sola fuerza, denominada electrodébil. Actualmente existe una teoría que demuestra que también la fuerza fuerte puede agruparse con estas dos, aunque por desgracia aun no disponemos de los instrumentos necesarios para poder comprobarla experimentalmente.

Por último, la fuerza de la gravedad supone un reto para los físicos teóricos, ya que aun no se dispone de una teoría que acepte todo el mundo y que muestre esta fuerza junto con las otras tres. Dicha teoría de gran unificación o teoría del todo está aun por llegar.

Referencias para ampliar:

<http://www.iac.es/cosmoeduca/gravedad/complementos/enlace9.htm>

<http://www.iac.es/cosmoeduca/gravedad/fisica/fisica5.htm>

*El Monstruo Subatómico*, I. Asimov, Plaza & Janés, 1986

-----