

L'EVOLUCIÓ DE L'UNIVERS

per JOAN MARTORELL

És aquesta una qüestió que ha preocupat l'home des de sempre i que transcendeix realment el punt de vista estrictament físic des del qual la vull enfocar. He de començar, doncs, demanant disculpa per la manera forçadament parcial de presentar-la i també per la poca precisió de la informació que en tan breus moments hom pot donar.

Per a saber com pot evolucionar qualsevol sistema físic, el primer que ens ha de preocupar ha d'ésser la seva composició. Cal, doncs, que d'entrada, puguem posseir el major nombre de dades sobre el seu estat present, i llavors, aplicant les lleis fonamentals de la física, podrem intentar de deduir quin ha estat el seu passat i quin serà el seu futur. Quan el sistema que volem estudiar és l'Univers, ens trobem amb algunes dificultats, principalment que el nostre camp d'observació és certament reduït, és a dir, que no el podem contemplar totalment, sinó tan sols el nostre entorn. Els nostres límits d'observació se situen a uns 5.000.000.000 anys de llum, xifra que ens pot semblar gran referida a les nostres distàncies humanes, però que certament és insuficient quan hom pretén de descriure un espai que se suposa infinit. Dit altrament: només tenim un coneixement local de l'Univers i, per tant, les prediccions sobre el seu comportament global són necessàriament pobres. D'altra banda, els nostres coneixements històrics són una mica millors, puix que ens permeten de fixar una antiguitat mínima d'uns 10^{10} anys; diguem que aquesta seria la data en què comença la història, bé que, del que va passar abans, tampoc no en sabem massa. Aquesta manca de coneixença fa que hi hagi diverses teories, més o menys acceptables segons els gustos de cadascú, que intenten d'explicar aquesta evolució: des de teories tipus *big bang* (Gamow) amb universos en expansió, passant per teories amb universos pulsants, i fins i tot amb universos amb creació contínua de matèria.

Les teories tipus *big bang* suposen que l'Univers va tenir un principi, és a dir, que hi va haver un procés de creació, i que en aquest inici la matèria-energia que ara omple tot l'espai era condensada quasi en un sol

punt en una forma extremament compacta. En aquestes condicions, l'equilibri és impossible, el sistema evoluciona, s'expandeix i de resultes del refredament aconseguït, el gas inicial pot condensarse, formar galàxies, i més endavant, dins aquestes, estels. Ha estat comprovat experimentalment que aquesta expansió és real i encara continua en els nostres dies. El que no se sap és si prosseguirà indefinidament (univers en expansió) o si, com si vingués sincronitzada amb un pèndol, arribarà fins a un màxim i després el moviment s'invertirà i la fi serà igual que el principi: un punt extremament dens i calent. Els optimistes diuen que després es reinicia l'expansió i així indefinidament, de manera que un univers d'aquest tipus (pulsant) és etern.

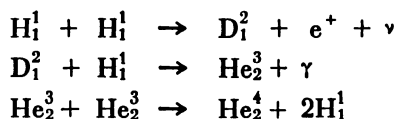
Hi ha també altres teories, dites «estacionàries», sobre el comportament de l'Univers. Són les de Bondi-Gold i Hoyle. En aquest cas se suposa un univers sempre igual en qualsevol punt i temps (i, per tant, també etern), en el qual, per a explicar l'expansió observada dels seus components, cal admetre que la creació de matèria és un procés continu que té lloc també en qualsevol punt de l'espai i en qualsevol instant (1 protó per m³ i milió d'anys). Aquesta teoria sorprenent i en aparença tan en contradicció amb la nostra manera de pensar, es pot defensar molt bé i, encara que avui dia s'ha demostrat falsa en la seva versió original, Hoyle l'ha modernitzada i sembla que no solament permet d'explicar les dades usuals conegudes, sinó també fenòmens relativament nous i intrigants com els *quasars* i l'existència de fonts d'ones radioelèctriques molt intenses en el centre d'algunes galàxies. Els *quasars* són objectes molt brillants, als quals hom suposa una massa de més d'un milió de vegades la del Sol, molt bons emissors radioelèctrics, i també, possiblement, uns dels principals productors de radiació còsmica.

Quan reduïm les dimensions de l'objecte del nostre estudi, i de l'univers passem a les galàxies, la quantitat dels nostres coneixements millora bastant, car d'aquestes hom coneix bé la forma i dimensions, i bastant bé la composició. De la Via Làctia, la nostra galàxia, hom sap que la forma és de disc lleugerament més gruixut a la part central, de manera que el seu diàmetre és d'uns 30 kpc = 100.000 anys de llum i la seva part més ampla fa uns 5 o 6 kpc = 15.000 a 20.000 anys de llum. Han estat descobertes una gran quantitat de galàxies, llurs formes i mides es coneixen molt bé i existeixen ja classificacions i teories bastant acceptables de llur evolució en el temps. El fet que sembla dominar aquesta evolució és llur moviment de rotació, responsable de les formes tan característiques, que se solen reproduir com a fotografia de text, de les anomenades galàxies espirals, amb una part central bastant densa (el nucli) i, a més, unes prolongacions radials anomenades braços i que a causa de la rotació adopten una forma espiral al voltant del nucli.

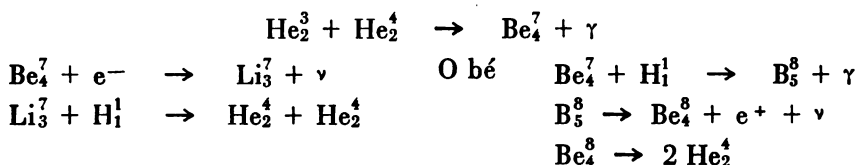
Aquests fenòmens, però, encara tenen una escala massa gran i llur evolució és també suficientment lenta perquè llur influència sobre nosaltres sigui ben escassa. Per tant, cal que baixem un altre esglaó en la nostra escala i ens ocupem dels estels, pròpiament les cèl·lules que componen el gran cos d'una galàxia qualsevol. Aquí sí que els nostres coneixements són ja força bons i ens permeten d'explicar bastant de les característiques del nostre món. Anem a veure, doncs, com és la vida d'un estel. Hi ha dos fets que la dominen: la gravitació i la lluminositat; de llur interacció podem deduir com és el comportament de l'estel. És important també la seva composició, en la qual intervenen quasi exclusivament hidrogen i heli, els dos gasos més lleugers, dels quals se suposa que es componia la matèria primitiva de l'univers.

Pensem avui que l'origen d'un estel és una massa de pols i de gas interstel·lar que per algun procés, potser només per casualitat, arriba a estar suficientment condensada i freda perquè l'atracció que es fan les partícules entre elles, deguda a la gravetat, sigui prou forta per a dominar el moviment desordenat del gas. Si això es compleix, llavors les forces gravitatòries tendeixen a conduir totes les partícules cap a un mateix punt; arriba, però, un moment en què els xocs entre elles, a mesura que es van concentrant, produeixen una pressió suficient per a compensar l'atracció gravitatòria, i així s'obté un quasiequilibri i es forma el que hom anomena un protoestel. De resultes de la contracció, el gas de l'estel s'ha escalfat i per tant tendeix a emetre la seva energia; de les parts més internes del protoestel arriba la calor a la superfície per convecció, i d'aquesta és emès a l'espai exterior com a radiació, de manera que el protoestel es fa lluminós. Aquesta pèrdua d'energia fa que la temperatura del gas baixi i per tant també la pressió, que ja no pot equilibrar l'atracció gravitatòria i per tant l'estel es va encongint al ritme marcat per la dissipació d'energia. Quan el procés és calculat detalladament, hom observa que l'estel radia la meitat de l'energia que s'obté de la contracció gravitatòria, i l'altra meitat la inverteix a augmentar la seva temperatura, o sigui que, al mateix temps que es contreu, l'estel s'escalfa (teorema del virial).

Aquest procés dura uns 10^7 anys, fins que en el centre de l'estel la temperatura és prou elevada perquè es produeixin les reaccions nuclears de fusió de l'hidrogen en heli:



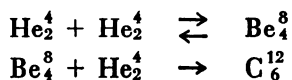
i si hi ha heli:



totes aquestes reaccions «cadena protó-protó» = *pp chain*, donen de resultat la transformació de quatre nuclis de H en un de He amb el corresponent alliberament d'energia. La nova font de calor fa que l'estel s'estabilitzi i passi uns 10^9 anys en aquestes condicions (sèrie principal), que són les del nostre Sol ara.

Més endavant l'hidrogen s'esgota i les reaccions nuclears es debiliten, l'estel deixa d'ésser estable i inicia una altra contracció. En aquesta fase es produeix una nova paradoxa, i és que, mentre la part central de l'estel realment es contreu, les seves capes exteriors es dilaten per a mantenir un gradient de temperatura baix. Això vol dir que l'estel augmenta el seu diàmetre (gegant vermell); per al Sol, hom pensa que arribaria a cobrir el nostre planeta.

A causa d'aquesta contracció, la part central augmenta de temperatura i arriba un moment que es desapareixen noves reaccions:



que produeixen energia i comencen la síntesi dels elements lleugers. L'efecte d'aquestes reaccions és semblant al de les de fusió de l'hidrogen, i l'estel atura la seva contracció. Després, quan l'heli s'esgota, altre cop es repeteix el cicle, i en processos successius es van formant O, Ne, Mg, Na, S i altres elements de pes atòmic baix.

Un cop vist com se sintetitzen aquests nuclis tan importants de cara al món orgànic, cal pensar quin mecanisme els permet de sortir de l'estel on s'han format i passar al mitjà interstel·lar i després, en una segona generació d'estels, aparèixer en els planetes que els volten i que sabem que es formen a partir del mateix material. Hi ha diverses maneres possibles d'explicar aquesta emigració, des de les de tipus suau, com el vent solar, fins a les de tipus catastròfic: explosió de *supernovae*, amb possibilitats intermèdies com és ara l'emissió de les parts més superficials de l'estel per pulsacions o inestabilitats. La veritat segurament correspondrà a una contribució de tots els processos, tot i que la seva importància relativa encara no està prou ben establerta.

Per a acabar, caldria potser parlar de les últimes etapes de l'evolució de l'estel, de les nanes blanques, dels estels de neutrons (pulsars) i dels hipotètics «forats negres». Totes aquestes són formes altament condensades de matèria, corresponents als estadis finals de contracció gravitatòria, en elles ja no tenen lloc reaccions nuclears i lentament es van refredant fins que acaben com cossos negres i morts.

BIBLIOGRAFIA

1. CHANDRASEKHAR, S. — *An Introduction to the Study of Stellar Structure*. Dover Publications, Inc. New York (1958).
2. CLAYTON, D. D. — *Principles of Stellar Evolution and Nucleosynthesis*. McGraw-Hill Book Company. New York (1968).
3. SCHWARZSCHILD, M. — *Structure and Evolution of the Stars*. Dover Publications, Inc. New York (1965).