



La modernitat de Galileu, 450 anys després del seu naixement

- 13 de novembre del 2014 a les 20.00 h
- Sala d'actes del Centre Cultural
La Llacuna, Andorra la Vella



Núria Ferrer i Anglada

Doctora en ciències, professora titular del departament de Física Aplicada, ETSETB, Universitat Politècnica de Catalunya, i coordinadora de l'Àrea de Ciència i Tecnologia de la Universitat Catalana d'Estiu

▲ Currículum

Núria Ferrer i Anglada és doctora en física i professora titular de física de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Telecomunicació de Barcelona, Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), al departament de Física Aplicada.

Va estudiar a la Universitat de Barcelona i va fer la tesi doctoral a la Universitat Paul Sabatier de Tolosa (França), en l'especialitat de física dels sòlids. Va ser professora de física a la facultat de Física de la Universitat de Barcelona, i des del 1986 és professora a la Universitat Politècnica de Catalunya.

Ha fet recerca en el camp dels nous materials, en particular en polímers conductors, nanotubs de carboni i grafè, emprant diferents tècniques de caracterització espectroscòpiques (FTIR, Raman, ressonància paramagnètica electrònica) i de transport electrònic. Ha realitzat diferents estades de recerca al Queen Mary College de Londres i al Max-Planck-Institut d'Stuttgart. Té prop de 40 publicacions en revistes científiques indexades.

La seva activitat en el camp de la divulgació científica està directament relacionada amb la Societat Catalana de Física (filial de l'Institut d'Estudis Catalans): ha participat en el comitè editor de la Revista de Física, en què també ha col·laborat en diferents articles. És coordinadora i cap d'àrea del curs de Ciència i tecnologia de la Universitat Catalana d'Estiu (Prada de Conflent).

És vicepresidenta de la Societat Catalana de Física i membre del comitè organitzador del fòrum Physics and Society, de la Societat Europea de Física.

Introducció

Galileo Galilei (Pisa 1564 – Arcetri 1642) físic, matemàtic i filòsof és probablement un dels científics més importants i transcendents que coneixem fins ara. Albert Einstein el va anomenar “pare de la ciència moderna”. Stephen Hawking, físic teòric i divulgador reconegut, en diu: “Potser més que qualsevol altre persona, Galileu fou el responsable del naixement de la física moderna.” El seu mètode és el mètode científic inductiu, definit i desenvolupat per Francis Bacon (filòsof, estadista, escriptor i jutge; Londres, 1561 - 1626), segons el qual teoria i experimentació són la base de la ciència: l'experimentació consisteix en l'observació dels fenòmens, les diferents observacions es poden generalitzar i induir una teoria, que també ha de ser comprovada amb altres experiments i observacions. Bacon proposà el mètode científic basat en l'experimentació i la inducció, lliure de prejudicis, criteris concebuts *a priori*, i d'autoritarismes: teoria i experimentació (comprovació i observació) van juntes. Pot avançar una o l'altra, però sempre han d'estar d'acord. Exemples molt clars del mètode científic són el desenvolupament de la física quàntica a principi del segle xx i també la teoria de la relativitat d'Einstein: 1905, la relativitat restringida, i 1915, la relativitat general.



Galileo Galilei
(Pisa 1564-1642)

Galileo Galilei



1609 “Ullera d'apropar”
o “allargavista”

Fets importants en la seva vida

Nascut a Pisa el 1564, fill de Giulia Ammannati i Vincenzo Galilei, músic, compositor i teòric de la música. Galileu va heretar del seu pare un sentit escèptic sobre l'autoritat establerta i el valor de l'experimentació. Va tenir tres fills amb Marina Gamba de Venècia, amb qui no es va casar mai, tots tres doncs il·legítims: dues noies, Virgínia (1600) i Lívia (1601), i un noi, Vincenzo (1606), l'únic que va ser legitimat (Dava Sobel, *La filla de Galileu*, Ed. 62).

1585-1592 de Florència a Pisa (1589).

1592 Universitat de Pàdua (República de Venècia).

1610- matemàtic de la cort de Florència.

1615- demana llibertat de recerca a la gran duquessa Cristina.

1616- Oposició de l'Església. El Sant Ofici de Roma publica un edicte contra Copèrnic (1473-1543) i prohibeix defensar o ensenyar les teories de Copèrnic.

1623- El papa Urbà VIII autoritza Galileu a escriure un llibre comparant els sistemes de Ptolemeu i Copèrnic.

1632- És jutjat a Roma per la Inquisició a causa dels *Diàlegs*.

La condemna de Galileu fou commutada per un arrest domiciliari a Arcetri, prop de Florència. Allà és visitat sovint pel seu fill Vincenzo, i per diferents savis i científics, alguns molt joves, com E. Torricelli. Les cartes amb la seva filla gran són intenses, sinceres i emotives, estan comentades admirablement per l'escriptora D. Sobel en *La filla de Galileu*.

1638- Publica *Discursos i demostracions matemàtiques sobre les dues noves ciències*, inici de la dinàmica => lleis de Newton (1642-1727).

1642 - Mor a Arcetri.

1992- Aquest judici no fou anul·lat fins a l'any 1992.

2008- Forta polèmica a Roma. El papa Benet XVI va renunciar a una visita a la Universitat de Roma La Sapienza.

2009- L'Any de l'astronomia, el Vaticà va celebrar una missa en honor seu.

2009- La Santa Seu organitza un congrés internacional sobre Galileo Galilei i publica els documents dels Arxius Secrets del Vaticà sobre ell.

Els seus descobriments més importants

Galileu va fer aportacions notables, amb els seus descobriments, en diferents àmbits de la física. Els classificarem segons la temàtica, en comentarem la seva importància en el seu temps, i la seva transcendència en el nostre món actual.

Mecànica i cinemàtica

El principi de relativitat de Galileu – Transformacions de Galileu

El principi estableix que els fenòmens com el moviment dels cossos o la caiguda lliure són observats de la mateixa manera per dos observadors que es moguin amb una velocitat constant l'un respecte de l'altre. Ara diem "en sistemes de referència inercials diferents". Les transformacions de Galileu estableixen com passar de la descripció en un sistema de referència a l'altre. Ho descriurem breument:

Transformacions de Galileu

Les transformacions de Galileu permeten relacionar les posicions, velocitats i temps que mesuraran dos observadors en sistemes de referència inercials S_1 i S_2 , que es mouen a una velocitat relativa v constant l'un respecte de l'altre,

· No podem saber si un vaixell es mou o està quiet: els cossos es mouen i cauen igual

$$\begin{aligned}x_2(t) &= x_1(t) + v \cdot t_1 \\ t_2 &= t_1\end{aligned}$$

Sempre que $v \ll c$ (v de la llum)

Aquest principi de relativitat de Galileu és vàlid sempre que les velocitats siguin petites comparades amb la velocitat de la llum, c . Va ser Einstein qui va observar que, a velocitats molt grans, les distàncies i els temps són diferents en els dos sistemes de referència.

Segons la teoria de la relativitat d'Einstein (1905, 1914), cal utilitzar un altre tipus d'equacions, les transformacions de Lorentz. A principi del segle xx Einstein ja sabia que la velocitat de propagació de la llum és constant, independentment del sistema de referència. I coneixia les equacions de Maxwell que descriuen l'electromagnetisme.

· Els cossos cauen a la mateixa velocitat, independentment de la seva massa (experiments des de la torre de Pisa) . Experiments realitzats per D. Scott en la missió *Apolo 15*, el primer home que va arribar a la Lluna el 1971.

· Oscil·lacions del pèndol: pulsòmetre.

· Tractat de mecànica: les màquines només transformen energia.

Termologia

· **1606: primer termòmetre** (o termoscopi). Se'n conserven alguns originals en el Museu de Galileu de Florència.

La temperatura encara no estava ben definida, ni existia una escala de temperatures universal. Això va arribar pocs anys més tard amb Fahrenheit (a Anglaterra, on encara són utilitzats els graus F) i Celsius, l'escala de temperatures que utilitzem normalment. Actualment, en física s'utilitza l'escala de temperatures absoluta, en graus Kelvin, de manera que el zero absolut de temperatura correspon a l'absència total d'energia cinètica. La relació en aquest cas és lineal:

$$T \text{ (graus Kelvin)} = T \text{ (graus Celsius)} - 273$$

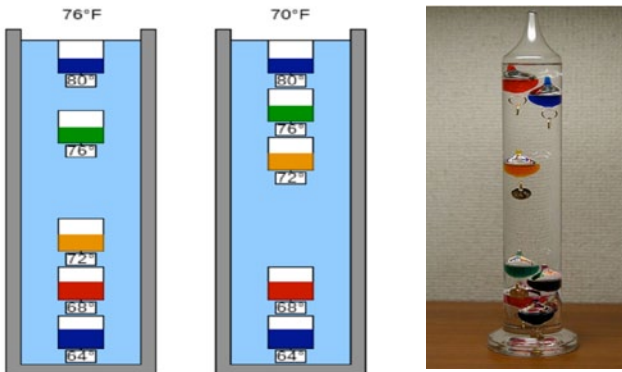
Termòmetre de Galileu

- Galileu descobrí que la densitat d'un líquid és una funció de la seva temperatura.
- Aquesta és la clau per saber com funciona: a mesura que la temperatura del líquid s'incrementa des dels 4 °C, la seva densitat baixa.

http://ca.wikipedia.org/wiki/Termòmetre_de_Galileu

La temperatura s'ha de llegir sobre el disc situat a la base del grup de dalt.

Si un bulb sura entre els dos grups, se'n dedueix una temperatura intermèdia.



El termòmetre (termoscopi) de Galileu

Magnetisme

- Experiments amb imants.

Fluids

- Va estudiar la densitat dels fluids. Com també altres aspectes, que va discutir amb el jove E. Torricelli, qui va continuar la recerca en aquest camp.

Microscòpia

- 1610, primer **microscopi galileà**, o microscopi compost, utilitzant dues lents.

Va permetre observar detalls d'insectes o plantes, d'uns pocs micròmetres (és a dir 10^{-6} m) per primera vegada. (Museu de Galileu, Florència).

Actualment la microscòpia electrònica d'alta resolució (HRTEM) permet observar fins a mig àngstrom ($1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m} = 0,000\,000\,000\,1 \text{ m}$); és a dir, la mida del radi de l'àtom d'hidrogen. Amb el microscopi de forces atòmiques (AFM) podem observar uns quants Å.

Astronomia

· **1609-1610 millora el telescopi**, 20 augments

· **Gran observador astronòmic, utilitzant el telescopi**

Se l'ha considerat sovint l'inventor del telescopi, però sabem que no és així. Tanmateix, se'n van construir molts i els va utilitzar per observar el cel, per descobrir diferents fets que el van portar a verificar el fet que l'univers és heliocèntric. Això li va valer el judici i la condemna a mort per part de l'església catòlica, commutada per cadena perpètua, tot i ser ell mateix creient, catòlic i practicant. Descriurem breument els seus resultats més notables:

Observacions i conclusions de Galileu

- Observa les fases i les muntanyes de la Lluna:

això ja és contradictori amb el model tancat aristotèlic.

- Observació d'una *nova* (estrella).

- Descobreix quatre satèl·lits de Júpiter: observa i descriu que giren al voltant de Júpiter!

- Descobreix les taques solars: observa que el Sol gira!

- Observa les fases de Venus: Venus gira entorn del Sol.

· **1610, publica *Siderius Nuncius* (El missatger dels astres)**. Segons les seves observacions, **defensa la teoria heliocèntrica de N. Copèrnic**.

Argumenta sobre les marees: en part, equivocat.

L'astronomia abans de Galileu

El telescopi: el telescopi es va inventar a Girona?

Fins ara, tothom creia que el primer telescopi el va crear i patentar a Holanda el 1608 el fabricant de lents Hans Lipperhey. Però un estudi publicat per la revista britànica *HistoryToday* (2008) afirma que l'inventor del telescopi va ser un fabricant de lents de Girona anomenat Joan Roget. El seu enginy, construït probablement el 1593, va viatjar cap a Holanda. Un historiador aficionat, Simó de Guilleuma, ho publicà el 1959. Guilleuma es basava en una referència d'un llibre de 1609 de l'italià Girolamo Sirtori que atribuïa la paternitat del telescopi a Joan Roget.

L'univers

Els primers documents d'observacions astronòmiques sistemàtiques són de l'imperi babiloni, cap a l'any 1000 aC, la civilització a Mesopotàmia. Els astrònoms van descriure el moviment periòdic d'alguns astres i planetes, però no tenien ni idea de les seves distàncies de la Terra.

Cap al s. III aC, l'astronomia va ser important a Alexandria; la majoria descrivia un univers geocèntric. Però ja algun, com Aristarchus de Samos, defensava l'univers heliocèntric, amb el sol al centre. Al s. II aC, Hiparcus va compilar el primer catàleg, que va recollir i continuar Ptolomeu. Al s. XV dC, els matemàtics i astrònoms de l'observatori de Samarcanda, durant

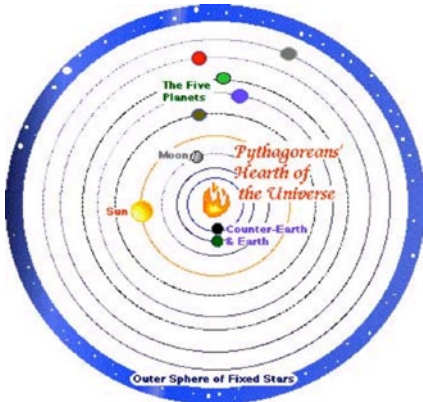
l'imperi d'Ullugh Beg, van crear un **catàleg de 994 estrelles**.

L'univers aristotèlic: és l'univers geocèntric, tal com va descriure Ptolomeu d'Alexandria al segle i dC: la Terra és al centre, les estrelles fixes constitueixen una capa tancada, immutable.

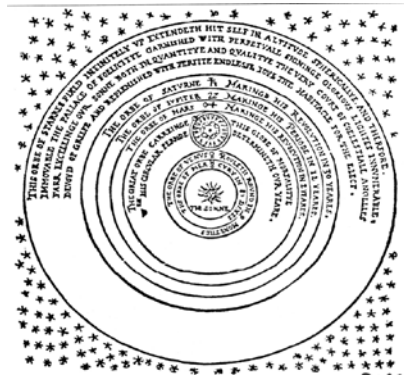
N. Copèrnic: univers heliocèntric (1473-1543): el Sol és al centre, la Terra i els planetes giren entorn del Sol.

Tycho Brahe, tot i refusar l'heliocentrisme, va completar (1598) i publicar (1627) una descripció molt precisa d'unes **1.000 estrelles**.

Digges: l'univers obert (1576).



L'univers aristotèlic, geocèntric. La Terra és al centre. Les estrelles fixes són en una capa tancada, perfecta



L'univers heliocèntric

Galileu i el telescopi



Galileu amb el duc de Venècia, ensenyant-li el telescopi. Giuseppe Bertini (1825-1898)



Fases de la Lluna, dibuixades per Galileu Galilei el 1616

La modernitat de Galileu. La seva herència: on la trobem?

Mecànica i cinemàtica

El principi de relativitat de Galileu i les transformacions de Galileu són el cas particular, quan la velocitat és petita comparada amb la de la llum, de la relativitat d'Einstein i les transformacions de Lorentz.

Les lleis de la dinàmica, que descriuen el moviment dels cossos, van ser generalitzades, proposades per Newton poc després:

· **Lleis de Newton (1642-1727)**

· **Principi d'equivalència:** equivalència entre massa inercial i massa gravitatòria; és el fonament de la teoria de la relativitat d'Einstein:

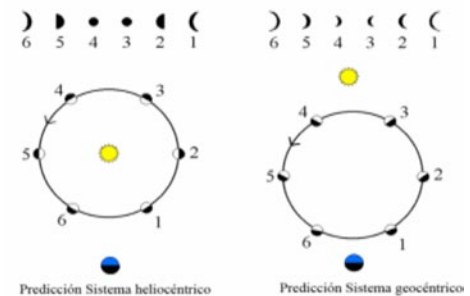
La massa gravitatòria m_G , queda definida en la llei de la gravitació universal (Newton):

$$F = \frac{G M_T m_G}{R_T^2}$$

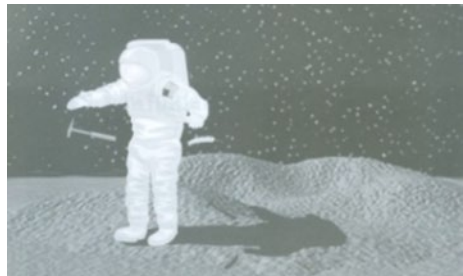
La massa inercial m_i queda definida en la segona llei de Newton: $F = ma$

Si $m_G = m_i$, **tal com va dir Galileu**, tots els cossos cauen amb la mateixa acceleració, **tarden el mateix temps a arribar al terra.**

Ha quedat verificat en diferents fenòmens i observacions experimentals. Com també en la missió *Apol·lo 15* (1971), quan el primer home va arribar a la Lluna. D. Scott va deixar caure simultàniament un martell i una ploma, per veure que queien de la mateixa manera i que arribaven en el mateix temps a la base.



Sobre l'observació de Venus, d'on es pot deduir que Venus gira entorn del Sol



Apol·lo 15, a la Lluna, 1971. David Scott deixa caure un martell i una ploma, per demostrar que cauen amb la mateixa velocitat, tal com va dir Galileu

Termòmetres. Temperatures molt baixes

La definició de termòmetre és: "Dispositiu amb alguna propietat que varia de forma mesurable amb la temperatura." Galileu en va fer alguns, quan encara no hi havia una escala de temperatures ben definida. Van aparèixer poc després.

Les escales de temperatura utilitzades avui dia són:

- Gabriel Fahrenheit (1686-1736): **graus F**

- Anders Celsius (1701-1744): **graus C**

- Lord Kelvin – William Thomson (1824-1907): **graus Kelvin**, o escala de temperatura absoluta

$$T (K) = t (^\circ \text{Celsius}) + 273,15K$$

La temperatura més baixa assolida fins ara és 10^{-10} K



Un superconductor d'alta temperatura levita sobre imants de neodimi, a causa de l'efecte Meissner

El fet d'aconseguir temperatures molt baixes ha permès observar fenòmens i efectes nous, que tenen la seves repercussions tecnològiques: a principi de segle xx es va descobrir la superconductivitat: alguns metalls, com ara el plom, en baixar la temperatura de sobte tenen una resistència elèctrica nul·la. Això es va observar a temperatures properes a la de l'heli líquid, 4,2 K. Més endavant, el 1988, es va descobrir que alguns materials es tornen superconductors a temperatures molt més elevades, cap als 100 K. Per això, es poden utilitzar per transportar energia elèctrica

sense pèrdues per efecte de la resistència (efecte Joule).

- Una altra propietat dels superconductors és l'efecte Meissner: causa la levitació d'un material superconductor sobre imants. Aquest efecte es pot utilitzar per anul·lar la fricció entre dues superfícies i fer que no es perdi energia.

- Interacció llum - matèria: la recerca, tant en el camp teòric com experimental, és important. En refredar àtoms es poden aconseguir sistemes coherents i observar fenòmens quàntics.

- Àtoms coherents: serien la base de la computació quàntica.

Magnetisme

Maxwell, a final del s. XIX, va resumir l'electricitat i el magnetisme en quatre equacions, que porten el seu nom. Tanmateix, en temps de Galileu calien encara molts experiments per obtenir unes lleis coherents per al camp magnètic.

Fluids

Toricelli (1608-1647), que va ser interlocutor de Galileu pocs anys abans de la seva mort, va ser el que va inventar i construir el primer baròmetre de mercuri, en estudiar com varia la pressió d'una columna de líquid amb la seva alçada. Podem considerar que el seu treball era una continuació del de Galileu. L'estudi de la dinàmica dels fluids és a la base de l'aerodinàmica i necessita un bagatge matemàtic important.

Microscòpia

Avui dia podem tenir una visió dels objectes o materials amb molta resolució, per diferents mètodes: el **microscopi electrònic d'alta resolució (HRTEM)** permet observar fins a objectes de la mida dels àtoms més petits, **$0,5 \cdot 10^{-10}$ metres**. Molt més senzill experimentalment és el microscopi de forces atòmiques (AFM), que permet observar fins **$1 - 2 \cdot 10^{-10}$ metres**. També s'utilitza la radiació de sincrotró: és llum produïda en un accelerador d'electrons, de manera que la seva longitud d'ona és variable.

Astronomia: l'estudi de la nostra galàxia

Molt posterior a Galileu, **Immanuel Kant (1724-1804)** va ser un precursor quant al coneixement de la nostra galàxia: va proposar diferents fets importants:

- 1755: la Via Làctia és un disc d'estrelles.

La Via Làctia pot no ser única (podria haver-hi molts altres sistemes en forma de disc a l'espai).

Aquests sistemes podrien ser com *universos illa*.

Poden ser molt diferents: diferents formes, temperatures, colors.



I. Kant, 1724-1804



La Via Làctia

El projecte GAIA

El projecte GAIA és una missió internacional de l'Agència Espacial Europea (ESA) en què participen diferents grups del nostre país. En particular, de l'IEEC i de la Universitat de Barcelona.
<http://sci.esa.int/gaia/>

Quins són els objectius?

Observar estrelles de la nostra galàxia.

Moltes, moltes... Com més millor!

Mil milions= 1.000.000.000

En totes direccions.

Volem saber com es mouen.

Volem saber a quina distància estan.

Volem saber quina edat tenen i de quina mena són.



El projecte GAIA

<http://sci.esa.int/gaia/>

GAIA és un projecte internacional que té com a objectiu aconseguir un mapa tridimensional de la nostra galàxia, la Via Làctia: l'objectiu és saber la composició, formació i evolució de la galàxia. GAIA ha de permetre mesurar amb una precisió sense precedents les posicions i velocitats



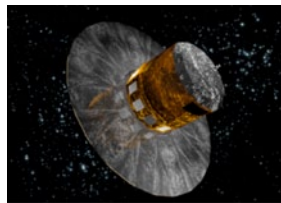
GAIA es proposa conèixer la nostra galàxia



Andròmeda



La Via Làctia, situació del Sol



El satèl·lit artificial GAIA, enlairat el 19 de desembre del 2013



radials d'un bilió d'estrelles! Sembla molt, però això representarà només aproximadament un 1 per cent de totes les estrelles de la galàxia.

Es va enlairar el 19 de desembre del 2013.

Les primeres dades ja s'han obtingut amb èxit. El primer catàleg d'aquest bilió d'estrelles es va publicar el dia 14 de setembre del 2016: l'observació més àmplia del cel fins ara!

La gran quantitat de dades i la seva complexitat requereixen un gran esforç de científics i també d'informàtics d'arreu d'Europa, que treballen en el processament, l'anàlisi i el tractament de les dades (DPAC). Els primers resultats ja s'han publicat, i el projecte encara continua, almenys fins més enllà del 2020.

Bibliografia

DAVA SOBEL *La filla de Galileo*. Barcelona: Edicions 62, 2000. (Títol original: *Galileo's Daughter*, 1999).

MIQUEL SALMERÓN I BATALLÉ "Els microscopis d'efecte túnel i de forces atòmiques: finestres al món dels àtoms i molècules". *Revista de Física*, 2n semestre, 1992. Publicació de l'EIC. Societat Catalana de Física.

CARME JORDI *Contributions to Science*, 6, 11 - 19, 2010.

https://ca.wikipedia.org/wiki/Francis_Bacon

Museo Galileo, Florencia, Itàlia.

<https://ca.wikipedia.org/wiki/Galileo>

<http://sci.esa.int/gaia/>