

MOMENTUM

Num. 001

Abril 2025



1981: Primeira pedra da facultade de física.

USC
UNIVERSIDADE
DE SANTIAGO
DE COMPOSTELA

Índice

Recuncho do Profesorado

Benvida a <i>MOMENTUM</i>	1
Equipo Decanal	

Divulgacion

Carathéodory e a axiomatización da termodinámica	3
Sebastián Táboas Pazo	

Física dun bo almorzo: Chulas perfectas e cafés rebeldes	5
Ánxel Costas Castro	

Skyrmións, ou que é a física	7
Víctor Díaz Díaz	

Entrevistas

Coñecendo o Observatorio Ramón María Aller	9
Celia Álvarez Álvarez	

Filosofía

Física e filosofía: Irmás	12
Mauro Garrido Rodríguez	

Historia

A morte do xeocentrismo: dos gregos a Kepler	13
Santiago González Gómez	

Sobre Momentum:

Tras uns cuantos meses de traballo, por fin podemos dar saída á nova revista estudiantil *momentum*, unha revista que busca ser un medio de comunicación tanto dentro coma fóra da facultade de física onde expor os intereses científicos do estudiantado. Cuestións de Divulgación, Actualidade, Entrevistas, Historia, Filosofía da Ciencia, Opinión, Programación... Son todos temas que teñen cabida dentro deste proxecto. Esta revista está realizada integramente polo estudiantado da Facultade de Física USC, onde pretendemos ter un recuncho de expresión máis aló do estrictamente académico. Fundada no ano 2025 co obxectivo de persistir na historia, esforzámonos sempre en mellorar. Non dubidedes en deixar a vosa pegada!

5 de abril do 2025

Número 001

Dirección

Alvaro Pallas Otero
Sebastian Táboas Pazo
Celia Álvarez Álvarez
Daniel Vázquez Lago

Edición

David Cotelo Varela
Víctor Díaz Díaz
Daniel Vázquez Lago
Manuel Vázquez Carreira
Ana Díaz Caride
Cristobal Santos Sánchez
Mauro Garrido Rodríguez

Deseño de Logo

Ana Díaz Caride
Elena López Miguélez



GitHub



revistafisicausc@gmail.com





Benvida a *MOMENTUM*

Equipo Decanal

Dende o Decanato da Facultade saudamos con entusiasmo a iniciativa de abrir un novo espazo onde o estudantado poida plasmar as súas inquedanzas e intereses ao redor da súa estadía na nosa Facultade de Física da USC. A revista *Momentum* recolle o testemuño de anteriores iniciativas similares que existiron na Facultade, nomeadamente as revistas *A Gota de Millikan* e o *Física Interviu* que gozaron de moito éxito entre os colectivos da Facultade. Comparten compromiso coa divulgación, xestión e participación estudiantil e diversidade de contidos. As tres publicacións, ao igual que o QMF ou a Quantum Cup reactivada este ano, constitúen unha ponte que conecta varias xeracións de físicos e físicas separadas por case corenta anos. Da súa lectura se percebe unha esencia común que perdura adaptada á evolución do contexto socio-económico e científico-tecnolóxico.

A Gota de Millikan naceu en 1988, pouco despois que a Facultade, cunha orientación fundamentalmente divulgadora promovida pola Asociación Isaac Newton. Publicaban traballos moi rigorosos, asinados tanto polo estudantado como polo profesorado, que trataban diversas temáticas relacionadas coas ciencias experimentais e matemáticas. Entre o estudantado asinante podedes atopar profesorado de sobra coñecido por vós, algún xa xubilado. *A Gota de Millikan* adicaba unha sección ao xadrez, unha das actividades favoritas do estudantado de Física da época. Eran míticas as análises das xogadas de Carril que poñía en práctica na cafetería de Pachín situada no espazo que ocupa actualmente a Sala de Lectura. Esta tradición mantívose e consolidouse co tempo coa celebración periódica de torneos de xadrez na Facultade de Física da man de Suso Mosqueira que atraen a toda a comunidade universitaria. Incorporaba tamén unha sección de Paradoxas que invitaba aos lectores a pensar. Para sufragar o custo que supoñía ser editada en papel, incorporaba anuncios publicitarios de establecementos vinculados á actividade diurna e nocturna do estudantado que hoxe espertan un sentimento doce de nostalgia. Publicáronse 9 números entre 1988 e 1992, e un décimo e derradeiro en 1997 que podedes atopar na Biblioteca. Existiu nunha época na que o acceso a un ordenador persoal non era tan común e moito menos o acceso ao correo electrónico; nunha época na que as redes sociais estaban constituídas por esa lista de coñecidos cos que interactuabas na universidade, no transporte, á hora de xantar en comedores ou bares, nos locutorios, no tempo de ocio...; rede que se ía ampliando con cada apretón de mans ou par de bicos tras unha presentación e que se ía

consolidando co contacto periódico pois nin o teléfono fixo estaba ao alcance de todos.

Física Interviu aproximábase máis a un boletín. O seu formato era máis flexible (entrevistas, opinións, divulgación científica, novas, cartas, crónica social, crónica política...) e os seus contidos, máis variados, foron evolucionando co tempo. Os avances nas comunicacións facilitaron o acceso á información e a persoal científico ou emprendedor alleo á USC que contribuíu con colaboracións puntuais. En *Física Interviu* tratábanse temas relacionados coa vida na Facultade: o edificio, a docencia, a investigación ou os logros no deporte por parte do estudantado, por exemplo. Constitúe un verdadeiro documento gráfico que lembra acontecementos e momentos importantes como os encontros do alumnado cos Premios Nobel, grazas ao programa ConCiencia; as distintas edicións do QMF; ou o renacer da Asociación Isaac Newton; a constitución da Delegación do alumnado, a adaptación ao Espazo Europeo de Educación Superior. Foi un medio pioneiro na visibilización da muller na Física co artigo *Mi mamá es investigadora* no ano 2008 e a sección ConCiencia de Muller nos últimos tempos.. Estivo activa de xeito intermitente ata 2021, un período moi extenso suxeito a moitos cambios. Os avances en tecnoloxía dixital e informática permitiron co tempo publicar edicións dixitais, que estaban dispoñibles nun espazo web, ademais das tiradas impresas. Algúns dos exemplares impresos publicados tamén están dispoñibles na Biblioteca para consulta.

O contexto no que xorde *Momentum* é distinto ao doutras épocas, pois as formas de comunicación evolucionaron de maneira significativa. Hoxe, o espazo público do debate e da reflexión está amplamente dominado polas redes sociais, que permiten a interacción inmediata e a difusión rápida de contidos. Porén, estas plataformas teñen tamén as súas limitacións: a inmediatez moitas veces non deixa espazo para a reflexión pausada, para a análise en profundidade ou para o intercambio estruturado de ideas. *Momentum*, pola súa natureza como publicación periódica, pode suplir esa carencia ao ofrecer un lugar onde as ideas se expresen con maior desenvolvemento, onde se poidan articular argumentos sólidos e onde se fomente un diálogo enriquecedor sobre os temas que máis preocupan e interesan ao estudantado e ao profesorado.

A nosa experiencia dinos que o éxito de *Momentum* será directamente proporcional á implicación que teña o es-



tudantado á hora de participar nela. Unha publicación deste tipo pode converterse nun valioso engadido ao conxunto de espazos de expresión dentro da Facultade. Non só permitirá compartir coñecementos e experiencias, senón que tamén servirá como rexistro histórico do que acontece en cada etapa. En anos futuros, as novas xeracións de estudantes poderán botar unha ollada ás páxinas de *Momentum* e descubrir como eran os debates, as preocupacións e as ilusións da comunidade universitaria do seu tempo.

Seguro que abundarán as referencias ás distintas actividades que teñen lugar na Facultade. Temos a sorte de contar cun estudantado moi activo, que enche o curso académico con numerosas iniciativas: ceas, concertos como o sacrosanto Quantum Music Festival (QMF), actos de graduación, actividades culturais e deportivas, entre outras. Todas estas accións contribúen a crear un ambiente universitario vivo e dinámico, no que non todo se reduce ás aulas e aos laboratorios. *Momentum* pode ser o espazo idóneo para recoller estas experiencias, para narrar as anécdotas que xorden delas e para reflectir a diversidade de intereses do noso estudantado.

Pero non só sabemos de festa. Desde a Facultade tamén se promoven moitas outras iniciativas de carácter académico e científico, sendo as máis relevantes os diversos congresos, cursos e seminarios que teñen lugar ao longo do ano. Ademais, levamos anos organizando a fase galega da Olimpíada de Física, en coordinación coa Real Sociedade Española de Física, ofrecendo aos estudantes de secundaria a oportunidade de achegarse ao mundo da Física con retos e desafíos intelectuais estimulantes. Unha publicación como *Momentum* pode servir para documentar e destacar estas actividades, dándolles visibilidade e recoñecendo o esforzo de quen as fai posibles.

Moitas veces, as cousas que suceden na Facultade pasan desapercibidas porque estamos inmersos na rutina diaria e non sempre somos conscientes da riqueza da nosa contorna. *Momentum* pode axudar a cambiar iso, ofrecendo un escaparate para dar a coñecer proxectos, experiencias e historias que, doutro xeito, poderían quedar relegadas ao esquecemento. Unha revista feita polo estudantado e para o estudantado ten o potencial de reflectir a verdadeira esencia da Facultade de Física: a súa diversidade, a súa vitalidade e o seu espírito crítico e innovador.

Ademais, *Momentum* pode servir como vehículo para a divulgación científica dentro da Facultade. Contamos con expertos divulgadores recoñecidos a nivel nacional e internacional polo seu xeito sinxelo e efectivo de explicar a Ciencia á poboación xeral. O feito de que o noso estudantado tamén estea implicado en iniciativas de divulgación, como o grupo Luzada, demostra que

hai un interese real por compartir coñecemento máis aló das aulas. Estes esforzos son de inestimable valor, pois axudan a achegar a Física a un público máis amplo e a espertar vocacións entre os futuros estudantes. *Momentum* pode ser unha plataforma adicional para a divulgación, na que tanto profesorado como estudantado compartan os seus coñecementos e reflexións sobre os avances da Física e o seu impacto na sociedade.

Os grupos de investigación da Facultade abranguen moitos eidos do saber actual, e entre as nosas vetustas paredes poderemos atopar unha opinión formada e relevante sobre case todas as grandes cuestións científicas actuais nas que a Física ten algo que dicir. Cuestións como as fontes de enerxía, o cambio climático, o papel da Ciencia na sociedade tecnolóxica, o crecente liderado da muller na ciencia e na sociedade, entre outros temas, poden atopar respostas acudindo ao persoal da Facultade. *Momentum* pode ser un espazo onde estas cuestións se traten con rigor, pero tamén con proximidade, facendo accesibles temas complexos para todo o estudantado.

Tamén pode ser un foro para debater sobre que mellorar na Facultade, tanto no que compete aos estudos en si como á propia organización da Facultade. Unha revista deste tipo pode servir de punto de encontro para as distintas opinións e sensibilidades que a conforman: dende o persoal de administración e servizos, até o estudantado, investigadores e profesores. Crear un espazo onde se poidan expresar ideas e propostas de mellora pode contribuír a fortalecer a comunidade universitaria e a facer da Facultade un lugar mellor para todos.

A Facultade ten moita historia que contar. Aquí traballaron investigadores que foron primeiros autores de artigos que levaron ao Nobel, por aquí pasaron ducias de Premios Nobel, e ata ¡un cosmonauta ruso! Nas súas aulas forxáronse moitas carreiras académicas, pero tamén carreiras políticas, de éxito empresarial millonario e mesmo estrelas da televisión. Recuperar estas historias, darlles visibilidade e compartilas co estudantado actual pode ser unha maneira de reforzar o sentimento de pertenza á Facultade e de inspirar ás novas xeracións.

En definitiva, *Momentum* será aquilo que o estudantado decida que sexa. A súa riqueza e utilidade dependerán da implicación e da creatividade de quen a faga posible. Desde o equipo decanal queremos expresar o noso total apoio a esta iniciativa e animamos a toda a comunidade da Facultade a contribuír a ela, xa sexa escribindo artigos, propoñendo temas ou simplemente lendo e comentando os contidos. Estamos seguros de que *Momentum* se converterá nun elemento fundamental da vida académica da Facultade e desexámosvos moito éxito nesta aventura. ¡Boa sorte con esta iniciativa!



Carathéodory e a axiomatización da termodinámica

Sebastián Táboas Pazo

Sobre a pretensión de transformar un coñecemento puramente fenomenolóxico en puramente matemático.

Introdución

Quizais o espírito que une a todos os científicos sexa a pescuda de respostas á realidade material que se nos impón, na física algúns acadaran o gozo na idea dunha *teoría do todo* que nos brinde explicación a todo o que acontece. Outros, no entanto, pretenderan buscar un denominador común capaz de fundamentar calquera teoría, mesmo *unha teoría do todo*; este é un espírito axiomatizador que se xesta dende a antigüidade xa con Aristóteles ou Euclides e se estende até hoxe en día, así tamén se pretendeu axiomatizar a física. Na conferencia do Congreso internacional de Matemáticos de 1900, David Hilbert propuxo os coñecidos *23 problemas de Hilbert*¹, entre eles o de axiomatizar toda a física.

Os esforzos neste proxecto son moitos e en moitas ramas, mais agora destacamos o traballo da axiomatización da termodinámica, quizais o menos frutífero de todos eles. Nun primeiro momento, a persoa que aceptou este desafío foi o matemático grego Constantin Carathéodory na súa obra *Untersuchungen über die Grundlagen der Thermodynamik*

A axiomatización de Carathéodory

No seu traballo de 1909, Carathéodory parte de tan só tres definicións primitivas e dous axiomas para fundamentar toda a termodinámica que pioneiros coma Kelvin, Carnot ou Clausius edificaran ao longo de máis de medio século. Primeiramente, o matemático define a equivalencia de sistemas e as variábeis de estado, como a caracterización dos cambios de estado. O primeiro axioma que propón é unha reescritura do primeiro principio da termodinámica:

Cada fase ϕ_i dun sistema S en equilibrio asóciase a unha función ε_i das cantidades V_i , p_i , m_i , que é proporcional ao volume total V_i da fase e denomínase enerxía interna da devandita fase. A suma $\varepsilon = \sum \varepsilon_i$ de todas as fases chámase enerxía interna do sistema. En calquera cambio de estado adiabático, o

cambio de enerxía incrementado polo traballo externo, A , é nulo; é dicir, en signos, se se denotan os valores inicial e final da enerxía con ε e $\hat{\varepsilon}$ respectivamente:

$$\hat{\varepsilon} - \varepsilon + A = 0$$

Carathéodory, 1909

Até aquí non hai nada novidoso, non obstante, debemos pensar que as expresións matemáticas que frecuentemente manexamos en termodinámica son diferenciais de Pfaff: $df = \sum x_i dx_i$, os cales no caso adiabático ($dQ = 0$) supoñen un problema de curvas características entre o estado inicial e o final. Nesta clase de procesos, estas 1-formas verifican sempre o segundo lema de Schwarz, polo que se trata de diferenciais exactos que podemos integrar; agora ben, en procesos non adiabáticos isto non é así. O matemático grego é tamén autor dun teorema que leva o seu nome: este asegúranos que para toda 1-forma non exacta existe un factor integrante que a converte en integrábel. Así, afirma, ao retirar a restricción adiabática, que para $dQ = dU - dW$ existe un factor integrante, que é o inverso da temperatura absoluta ($1/T$), que converte a dQ en exacta, este novo diferencial é a entropía dS . Desta forma, semella sólido enunciar o seguinte axioma:

«En calquera entorno dun estado inicial arbitrario hai estados que son inaccesíbeis mediante cambios de estado adiabáticos.»
(Carathéodory, 1909).

Este teorema dinos que para todo estado α de equilibrio existe polo menos un estado β tal que o segundo é accesíbel dende o primeiro, mais non á inversa. Isto supón asumir que existe un número arbitrario de curvas adiabáticas, tantas como se propoña para soster o seu sistema. Até este momento, Carathéodory non se referira todavía a unha magnitude tan fundamental na termodinámica como é o calor. Tal é que non fai referencia algunha á noción primitiva do calor ao longo de todo o

¹Realmente só propuxera dez deles.

seu desenvolvemento, deslindándose da realidade física evidenciábel e usándoa só como un comodín para describir aquelas curvas que non foran da clase que define o primeiro postulado.

Críticas

Estes axiomas semellan constituír un análogo aos principios clásicos da imposibilidade dos móbiles perpetuos, no caso de seren formulados sen ningunha clase de erro. A difusión deste traballo foi practicamente nula nun principio, non foi até que M. Born sinala o innovador deste artigo que pasara despercebido nun extenso estudo de 1921. A crítica pronto florece e florea ampla e negativamente o traballo de Carathéodory, dando un salto exponencial a mediados do século pasado co auxe da termodinámica irreversible na que se evidenciaban os problemas destes enunciados, cando menos insuficientes, pois o matemático sempre restrinxírase a un marco de procesos quasiestáticos.



Figura 1: Constantine Carathéodory.

Unha das primeiras críticas que aparece vén de man de Max Planck, quen sinalara a súa falta de contacto coa evidencia experimental nunha rama de fundamento plenamente fenomenolóxica. Este último sentenciara: «...ninguén até agora tratou de alcanzar soamente mediante procesos adiabáticos todo punto no entorno de calquera estado de equilibrio, e así comprobar se de veras son inaccesíbeis, [...], este axioma non nos brinda o menor indicio que nos permita diferenciar os estados accesíbeis dos inaccesíbeis.» (Planck, 1926). Outra crítica de entre moitas radica, aínda que se evidencie a existencia dun factor integrante vinculado á escala absoluta Kelvin, este non comporta necesariamente unha función

da clase das temperaturas termodinámicas, malia ser este erro rectificábel.

A pesar de nunca ser realmente aceptado (Chandrasekar, no seu libro *Introducción ao estudo da Estructura Estelar*, denomíno só como “un punto de vista”), o simple atreverse é un paso xigante para o desenvolvemento científico. Este traballo de 1909 constitúe indudabelmente un fito histórico da ciencia, aínda que sexa errado, relegado á posición de mera curiosidade académica, acabando por ocupar un lugar secundario nos manuais de termodinámica.

Ademais desta versión histórica da axiomática termodinámica, atopamos hoxe o edificante escrito de Herbert B. Callen, *Thermodynamics and an Introduction to Thermostatistics*, que a estrutura axiomáticamente, como outro punto de vista, e o fundamenta todo no que el chama “o problema básico da termodinámica”. Moitos dos textos actuais que empregan estudantes son deudores de Callen, como por exemplo *Curso sobre el formalismo y los métodos de la Termodinámica* de J. Biel-Gayé. Aínda con todo, até agora non se conseguiu unha formulación axiomática puramente matemática equivalente á clásica formulación de Gibbs exclusivamente fenomenolóxica, quizais, a termodinámica comporte un caso especial dentro do paradigma científico actual no que é imposíbel evidenciala dende uns principios matemáticos xerais e primitivos.

Referencias

- [aB99] Lionello Pogliani a e Mario N. Berberan-Santos. “Constantin Carathéodory and the Axiomatic Thermodynamics”. En: *Journal of Mathematical Chemistry* 28 (1999), pp. 313–324.
- [Ber14] Rafael Andrés Alemañ Berenguer. “Alcance y limitaciones en la axiomatización termodinámica de Carathéodory”. En: *Latin American Journal of Physics* 8 (2014), pp. 429–437.
- [Cal60] H.B. Callen. *Thermodynamics*. 1960.
- [Car09] C. Carathéodory. “Untersuchungen über die Grundlagen der Thermodynamik”. de. En: *Mathematische Annalen* 67.3 (set. de 1909), pp. 355–386. ISSN: 0025-5831, 1432-1807. DOI: [10.1007/BF01450409](https://doi.org/10.1007/BF01450409).
- [Pla26] Max Planck. “Über die begründung des zweiten hauptsatzes der thermodynamik”. En: *S.B. Akad. Wiss.* 53 (1926), pp. 453–463.



Física dun bo almorzo: Chulas perfectas e cafés rebeldes

Ánxel Costas Castro

A física aplicada á cocción e vibracións do café.

Meus ben queridos lectores, seguro que para moitos dos que estades lendo este artigo o almorzo sexa unha das comidas máis gozadas do día (ou, polo menos, a que necesita denantes de ser persoa) e seguramente non queredes un almorzo ordinario, senón que queredes o mellor posíbel. Permitídemme, pois, axudarvos nesta tarefa, a priori sinxela, pero que agocha máis física da que pensades. É lóxico pensar se existe unha fórmula secreta para conseguir noso obxectivo. Por desgraza, esta fórmula non existe, xa que cada un ten particularidades e gostos de seu que fan que non exista o almorzo ideal único para todos, pero podemos axudar a obter, por exemplo, unhas chulas perfectas.

Para iso teremos que saber que factores afectan á cociña deste rico alimento e así, cada un poida axustar estas variábeis aos seus gostos. Nun acto tan sinxelo como este, actúan a mecánica de fluídos, a termodinámica e a dinámica.

Para comezar, podemos considerar (creo que nisto estaremos tanto autor como lector de acordo) que unha chula excelente ten unha forma e grosor uniforme, e é esponxosa e dourada por fóra ao cocerse homoxeneamente. Para conseguir o primeiro destes requisitos necesitamos esparcir a masa da chula adecuadamente na tixola, pero se a masa é moi líquida esparcirase moi rápido e a chula quedará demasiado delgada e, no caso de que sexa moi espesa, apenas poderá moverse e quedará irregular. Para conseguir o equilibrio entre estas dúas situacións teremos que traballar coa viscosidade, que, como todo físico que se aprecie sabe (seguro que ti tamén o es), é a resistencia dun fluído a fluír. A proporción dos nosos ingredientes cambiarán esta propiedade, xa que se temos máis leite ou auga a viscosidade se reducirá, pero non é este o único factor, pois a presenza de burbullas cando batimos demasiado cambia a fluidez, ou mesmamente se aumentamos a temperatura, a viscosidade diminuírá.

Unha vez que consigamos a viscosidade desexada virá a cocción da chula, onde a transferencia de calor principalmente será por conduction e convección. Na conduction, o calor da tixola pasa á masa en contacto e vai determinar como de rápido se forma a corteza dourada. Por outro lado, a convección será o calor que vai dende a base da masa até a superficie superior; se non temos

unha boa conduction, poderíamos queimar a base antes que o interior estea ben feito. Nestes procesos térmicos, a temperatura da tixola é chave. Unha temperatura óptima sería entre 175 e 200 °C, ademais precisamos que a temperatura sexa uniforme e non existan focos fríos e quentes (científicos con moito tempo libre viron que se a temperatura da tixola é uniforme a probabilidade de queimar as chulas caía nun 50%). Un bo material pode ser o ferro fundido, pois o teflón pode queantar de xeito desigual ou unha tixola de aluminio pode perder temperatura facilmente.



Figura 1: Mancha dun café derramado.

Agora que xa temos a masa ideal e a temperatura e material da tixola máis óptimas, chegamos a un punto crítico da nosa receta. Darlle a volta á masa (non entres en pánico). Se es unha persoa precavida seguramente queiras axudarte de utensilios de cociña, mais se queres impresionar a alguén, ou se simplemente queres asemellarte a un gran chef, é probábel que queiras darlle a volta cun golpe de pulso. Aquí hai que ter en conta a rotación e o momento angular, ademais de controlar a nosa forza, xa que se nos pasamos, a chula xirará demasiado rápido e caerá fóra. A aceleración angular máis óptima é de 5 rad/s^2 , pero como isto é moi difícil de saber a ollo, podo dicirche que a masa seguirá un movemento parabólico, para que, se te pasas ou quedas curto de forza, saibas onde vai caer. Unha vez consigas dominar todo este proceso, xa poderás degustar unhas chulas para lamber os dedos.

Por suposto, este delicioso almorzo non estaría completo sen o líquido fundamental para o funcionamento correcto dun físico: o café. Mais hai que ter coidado, porque



un paso en falso, literalmente, podería arruinar o noso almorzo ideal. Seguro que en máis dunha ocasión, mentres levávedes o voso café ou volo traían á vosa mesa da cafetaría, este acababa derramándose polos bordos da taza e seguramente máis dunha vez pensástedes «*que patoso son*» ou «*non pode ser tan complicado levar o café sen derramalo*». Permíteme dicirche a ti, meu ben querido lector, que teño unha noticia boa e outra mala: non es unha persoa patosa pero si que é un tema máis complicado do que pensas.

Normalmente o café derrámase aos 4 ou 5 metros (uns 7 ou 10 pasos), aínda que poden ser máis se estás atento cando o leves. O motivo detrás deste indesexábel fenómeno ten que ver coas oscilacións e, sendo máis precisos, coas resonancias, mais acouga, voucho explicar sinxelamente para que comprendas os motivos de tal desgraza e poidas evitalo, se es capaz diso claro está. Cando comezamos a camiñar coa taza, a aceleración dos nosos pasos induce unha amplitude inicial ao vaivén do café, sendo esta maior canto maior sexa a aceleración. Dito noutras palabras, é oportuno que comeces a andar a miúdo para que partamos con marxe e poder chegar até nosa mesa con éxito. Neste punto, se prestas atención ao movemento do café, verás que a amplitude da oscilación comezará a aumentar e seguramente non saibas por que; trátase dos nosos pasos. Máis ben do ruído que xeran os nosos pasos, xa que este contén harmónicos de altas frecuencias que convirten a taza co café nun sistema oscilatorio asimétrico inestábel. Como, por desgraza, non podemos voar, teremos que coformarnos con camiñar concentrados e a modiño para minizar o ruído que poidamos xerar ao camiñar e así aumentar o tempo antes de que suceda a traxedia que tentamos evitar.

Os líquidos (os nosos preciados cafés) dentro de recipientes cilíndricos (súas pequerrechas tazas) teñen unhas curvas de resonancia relativamente anchas, por iso se excitan sinxelamente a pesares de estar lonxe da frecuencia de resonancia (sempre que se supere un certo umbral de ruído). Este tedioso problema levou aos físicos a deseñar tazas especiais que foran capaces de evitar o desafortunado derrame, como tazas flexíbeis que amortiguan o vaivén e eliminan as oscilacións, ou poñendo aneis concéntricos na parede interior da taza para eliminar o fluxo de masa asociado á frecuencia de resonancia. Todos estes modelos quedan no esquecemento xa que, ben sexa por simplicidade e costume ou ben pola preguiza dos nosos, a forma dunha taza común segue sendo a dominante

hoxe en día, a pesar do seu efecto secundario: derramar o noso café. Con todo isto, non nos queda máis remedio que andar con coidado e evitando facer aceleracións moi fortes.

Se con isto que acabas de aprender, aínda así tes a mala sorte, a desgraza ou, se cabe, a torpeza como para verter este líquido vital para nós, non te enfades, xa que incluso a partir deste molesto accidente podemos aprender algo novo antes de comezar a traballar. A gota derramada ou, para ser máis precisos, a mancha que queda ao secarse garda un gran segredo. Se tes a paciencia e o tempo, verás que a mancha que deixa o noso pequeno desastre comezará a ter unha forma peculiar, e é que veremos que esta adopta unha forma de circunferencia en vez dun círculo completo (supoñemos unha mancha circular, xa sabemos como nos gusta aos físicos aproximar a casos sinxelos).

A que se debe esta rareza? Pois, cando a pinga de café cae enriba da mesa, os bordos da mancha son máis estreitos ca o centro, polo que se evaporan máis rápido. Como na evaporación pérdese líquido, aparece un fluxo capilar para compensar esta perda, o cal arrastra consigo tamén ás partículas de café que acaban acumulándose nos extremos. Deste xeito temos o patrón de aneis que tanto nos chamou a atención. Este fenómeno coñécese como *mancha de café* ou efecto *coffee ring*, e pode darse tamén (ademais de no café) en tinta, sangue ou líquidos que conteñan partículas en suspensión.

Sabendo isto, se o lector é unha persoa astuta, intuirá que isto pode ter aplicacións prácticas, e así é. No campo da medicina, sabendo como se evaporan as gotas de sangue ou outros fluídos biolóxicos, poden crear un diagnóstico; no campo dos materiais e da nanotecnoloxía, estúdase este fenómeno para mellorar a distribución de nanopartículas sobre superficies co obxectivo de construír sensores ou dispositivos electrónicos, como por exemplo paneis solares. Por suposto, hai moitísimos máis campos e aplicacións para este curioso efecto. Poucas veces estudar unha mancha resultou tan interesante e tan rentábel!

E, agora si, este querido lector xa poderá tomar o seu almorzo tranquilo, coa seguridade de que dependeu a cociñar as chulas ideais, como evitar derramar o seu importantísimo café matinal e incluso como aproveitar unha mancha no noso beneficio. Quizais por todo isto, e por máis, dise que o almorzo é a comida máis importante do día. Que aproveite!



Skymións, ou que é a física

Víctor Díaz Díaz

O que unha teoría errada da interacción forte nos recorda sobre como funciona a ciencia.

Introdución

Hai pouco máis de dous séculos a ciencia comezou a establecerse como unha ferramenta moi poderosa á hora de investigar e entender o Universo. Grazas a ela podemos entender unha multitude de fenómenos, e aplicar estes coñecementos para conseguir fins que doutro xeito parecerían imposibles. Neste ambiente de éxito, é sinxelo deixarse levar e asumir que a ciencia nos proporciona acceso á «*verdade obxectiva*» do Universo, e que con ela poderemos dar resposta a calquera pregunta que se nos ocorra. Sen embargo, a realidade é que a ciencia está limitada por definición.

Neste pequeno artigo imos exemplificar isto no caso da física empregando os skymións.

Os skymións

A física de altas enerxías estuda as compoñentes máis fundamentais da Natureza, o que na actualidade se corresponde con partículas subatómicas coma os electróns e os quarks. Dende o punto de vista teórico, estas partículas represéntanse matematicamente coma solucións dunha determinada teoría cuántica de campos (QFT), sendo a día de hoxe o Modelo Estándar a teoría máis completa e efectiva para isto. Estas QFTs son modelos matemáticos moi ricos, que describen unha gran cantidade de fenómenos a partir dun número relativamente reducido de ingredientes.

Un exemplo disto pode verse no tipo de solucións destas teorías. Como xa se dixo, as partículas elementais correspóndense con algunhas das solucións, pero non con todas. En algúns casos existen outro tipo de solucións, denominadas *solitóns*, con características similares ás partículas pero tamén con algunhas diferenzas importantes.

Hoxe en día, os solitóns non gozan do mesmo protagonismo que as partículas á hora de representar as interaccións fundamentais, pero cando o campo da física de altas enerxías aínda non estaba tan asentado coma agora, a situación era moi diferente. Cando aínda se estaba intentando formular teoricamente a interacción forte, aquela que sucede entre protóns e neutróns (chamados *nucleóns* en conxunto) no núcleo dos átomos, Tony Skyrme traballou nun modelo que contiña un campo escalar, o campo piónico, cuxas solucións tipo partícula

se correspondían cos pións e cuxas solucións tipo solitón, chamadas *skymións*, se correspondían cos nucleóns. Así naceu o *modelo de Skyrme*.

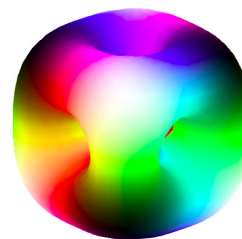


Figura 1: Representación gráfica dun skymión, onde o número de buracos se corresponde coa súa carga topolóxica.

Co tempo, a pesar duns primeiros resultados exitosos da teoría, o modelo de Skyrme foi abandonado como candidato á teoría fundamental da interacción forte. Isto débese a que a teoría ignora a existencia dos quarks, as partículas constituíntes dos nucleóns que foron descubertas en experimentos posteriores e que son descritas matematicamente pola Cromodinámica Cuántica (QCD) e subsecuentemente polo Modelo Estándar: a mellor teoría das interaccións fundamentais (cuánticas) da que dispoñemos a día de hoxe. Isto significa que o modelo de Skyrme é incompatible co Modelo Estándar, e sen embargo algunha xente (incluído o autor deste artigo) segue traballando con el. Por que? Que utilidade pode ter isto?

Para entender isto debemos primeiro fixarnos nun réxime concreto. A baixas enerxías, a presenza dos quarks apenas ten efecto e os nucleóns compórtanse como obxectos sen partes, sen graos de liberdade internos. Neste caso, os cálculos feitos empregando skymións proporcionan resultados en bo acordo con observacións experimentais. Polo tanto, neste réxime é perfectamente válido empregar o modelo de Skyrme para calcular teoricamente certas magnitudes e ignorar por completo a QCD. Pero como pode xustificarse isto? Para que queremos traballar con partículas que non existen podendo facelo cas que si?



Teorías efectivas

Para responder a esta pregunta, imos considerar un problema totalmente diferente. Supoñamos que quero describir o movemento de Xúpiter ao redor do Sol. Necesito coñecer con precisión infinita a dinámica de todos os obxectos que existen no Universo para poder facelo? Por sorte para nós, a resposta é non. Non necesitamos coñecer a posición de todas as partículas de gas que forman o planeta, ou que efecto ten sobre a súa órbita a variación da súa temperatura debida ao reflexo da luz do Sol sobre os seus satélites. Basta con considerar os aspectos máis relevantes para a súa dinámica, que se reducen a pouco máis que a súa masa, radio e distancia ao Sol. O resto de factores terán o seu efecto, pero será tan pequeno que á hora de medilo non seremos capaces de resolvelo. Así, podemos ignoralos completamente.

Para facer física, o primeiro paso é elixir que magnitudes son relevantes no noso problema. Este é un proceso complicado, e sempre en continua revisión, pero inevitable se queremos poder formular preguntas e buscar respostas que sexan satisfactorias en certo grao. Con elo, formulamos unha teoría o máis simple posible que nos resolva as dúbidas que temos, e unha vez que o conseguimos buscamos predicir con ela fenómenos novos. Pouco a pouco, as teorías vanse refinando e conséguense explicar unha cantidade cada vez maior de fenómenos co menor número de ingredientes. Sen embargo, as teorías que quedan atrás non se esquecen por completo, nin só se formulan teorías novas que busquen ser máis completas que as anteriores. As teorías que só son válidas nun rango concreto coñécense como *teorías efectivas* e, nese rango, son exactamente igual de válidas que as teorías máis xerais.

Se quixese medir a lonxitude da miña mesa cunha precisión de centímetros, sería o mesmo medir cunha regra con marcas cada milímetro que cunha regra con marcas cada nanómetro. A resposta sería igualmente 100 centímetros, e calquera decimal adicional sería descartado, pero é máis sinxelo de ver na regra que está en milímetros. Esta é precisamente a utilidade de empregar teorías efectivas: usualmente, cantos menos graos de liberdade teña unha teoría, máis sinxelo será traballar con ela. E se nos proporciona a precisión que buscamos, o máis lóxico é traballar ca teoría máis simple. Porén, para describir algunhas propiedades xerais dun núcleo atómico, podo seguir empregando o modelo de Skyrme porque este é

moito máis sinxelo que a QCD, e os resultados que se obteñen son suficientemente bos.

A ciencia fala do «como»

A partir do que xa se mencionou debería ser sinxelo clasificar as teorías efectivas coma «non reais», «útiles, pero non verdadeiras». A pregunta entón é «que teorías son reais?», ao que podemos responder «as que non sexan efectivas». Pero resulta que todas as teorías da física son teorías efectivas. Dende a lei de Hooke ata o Modelo Estándar, só son válidas nun rango determinado dos seus parámetros. Así, non temos moita xustificación para asegurar que os quarks son reais e os skyrmións non. Si podemos establecer un criterio para elixir que teoría é «máis real» que outra, considerando que a «máis real» é aquela que describe unha maior cantidade de fenómenos. Sen embargo, a única «teoría real» sería aquela capaz de describir todos os fenómenos do Universo en conxunto, e isto é algo que non coñecemos e posiblemente non poidamos formular nunca.

Con isto, vemos de xeito claro unha noción fundamental sobre que é a física (ou calquera outra ciencia natural) e cal é a súa utilidade. En última instancia, a física non se preocupa de «que son as cousas» se non de «como se comportan as cousas». Así, dentro dun rango de precisión determinado, un «núcleo atómico» e «algo que se comporta exactamente igual que un núcleo atómico» son nocións totalmente indistinguibles dende o punto de vista científico. Precisamente neste feito radica a súa eficacia: ao eliminar certos detalles e centrarse nos aspectos que son fundamentalmente diferentes, resulta moito máis sinxelo caracterizalos e entendelos.

E é que ao facer física sempre se deben asumir certas cousas, sempre se debe tomar certos elementos ou relacións como «reais», e a partir delas estudar as consecuencias. Pero este primeiro paso é un acto non científico. Porén, non debe menosprezarse a importancia da filosofía no proceso da investigación da realidade e a súa conexión ca ciencia. Pode parecer que as medidas experimentais son obxectivas e independentes da opinión de quen as faga, pero non se debe esquecer que no traballo científico ten unha gran importancia a interpretación dos resultados e que os principios filosóficos aceptados no momento guían de xeito sutil a investigación científica. En moitos casos, un gran avance na ciencia vén despois dun cambio de paradigma filosófico, e viceversa.



Coñecendo o Observatorio Ramón María Aller

Celia Álvarez Álvarez

Unha conversa sobre o Observatorio e a Astronomía con J.A. Docobo Durántez.

P: Queremos comezar por coñecer un pouco máis de cerca o Observatorio. Baixo total descoñecemento das rutinas e das labores dos investigadores que traballan neste observatorio preguntamos: Que actividades se realizan a diario no observatorio? Con que visión se construiu e con que obxectivos en mente?

R: Son múltiples as actividades. Sempre poño o símil da mesa de catro patas: investigación, docencia, divulgación astronómica e sección meteorolóxica. A día de hoxe, e logo de décadas de intenso traballo para acadalo, o Observatorio é un referente mundial no estudo das estrelas dobres e múltiples dende diversos puntos de vista, pero temos máis liñas de traballo que ás veces compartimos con outros colegas. Por exemplo, o estudo da dinámica de exoplanetas e exosatélites, bólidos, da mecánica celeste, etc. Loitamos arreo para que o Observatorio sexa a día de hoxe un centro cuns recursos didácticos moi dignos e na faceta divulgativa foron e son multitude as iniciativas promovidas, non só para recibir moreas de visitas didácticas escolares senón tamén para levar, mediante programas financiados por distintos organismos, a Astronomía a centos de lugares espallados por toda Galicia e incluso fóra dela. A nosa estación meteorolóxica data de 1947, e na actualidade é a que dispón da serie de datos máis antiga da cidade de Santiago de Compostela. Dende 1981, data na que me incorporei ao Observatorio, colaboramos coa Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). (...).

Á pregunta de con qué obxectivos se construiu, teño que dicir que o Observatorio representa a continuación daquel outro que o padre Aller tiña no seu Lalín natal, e no que fixo un traballo exemplar durante décadas ata que veu a Santiago como profesor en 1939 e xa logo en 1943 o seu Observatorio se trasladou a un novo edificio construído no Campus, na entón chamada Residencia. (...). Así foi como, coa axuda do recentemente creado CSIC, D. Ramón foi nomeado Director do novo Observatorio o 27 de setembro de 1943. Os obxectivos eran que o profesor Aller creara escola na universidade, como así foi, e que o Observatorio se integrara na vida universitaria, pensando sempre en ir crescendo, pero despois duns anos co centro a pleno rendemento, o frustrado relevo xeracional fixo que o Observatorio caese nunha etapa

decadente entre 1966 e 1981.

P: Ademais, eu tiveron a oportunidade de poder visitar o seu interior e de ver de cerca un dos telescopios que garda este edificio: Cales son os telescopios máis destacables do observatorio?

R: O principal telescopio é un reflector Ritchey-Chrétien de 0.62 metros de apertura construído nunha factoría de San Petersburgo e instalado aquí en outubro de 2003, e que me custou media vida acadar. Na cúpula pequena está un Meade de 0.40 m, máis novo. Logo temos telescopios máis pequenos, de 0.20 m, que son esenciais para facer observacións con grupos numerosos no xardín do Observatorio e tamén para levar fóra en saídas de divulgación. (...). Aínda que con menos prestacións na actualidade, a nosa xoia da coroa é o refractor Steinheil que pertenceu a Ramón María Aller e quen o doou logo ao Observatorio. (...). Este instrumento cumpre precisamente agora 100 anos e está en perfecto estado.



Figura 1: Ramón María Aller coa súa discípula Antonia Ferrín Moreiras, a primeira muller que presentou en España unha Tese de doutoramento en Astronomía.

P: Sobre o telescopio máis antigo do observatorio: Utilízase a miúdo para realizar observacións? Para que tipo de observacións serve?



R: Como é lóxico, este refractor do que acabo de falar é un instrumento venerado pola súa idade. Non se usa de xeito cotiá, senón mais ben como unha peza histórica a conservar pero onde está ubicado agora na sala meridiana está apto para realizar as observacións que se lle soliciten. É un luxo contemplar con el a Lúa, os planetas, estrelas dobres, etc., e os visitantes así o consideran e agradecen.

P: *Nun campo tan extenso coma a astronomía é común a colaboración entre diversos observatorios e centros de investigación situados en diferentes partes do mundo? Por que é importante o traballo en conxunto de científicos con bases dispersas ao redor do mundo? Cales son as colaboracións internacionais máis destacables que tivo o observatorio durante os últimos anos?*

R: Hoxe en día a ciencia nos seus distintos ámbitos é difícilmente sustentable sen colaboracións estratéxicas incluso internacionais, por suposto. Hai moito tempo que temos relacións moi estreitas con astrónomos e observatorios de moitos países. Especialmente de Francia, Rusia, USA, Chile, Armenia, Italia, Inglaterra, etc. Mediante proxectos de investigación témonos desprazado como usuarios de grandes telescopios a ambos hemisferios para obter datos de posicións relativas e fotometría diferencial de binarias coa técnica de interferometría speckle. Na actualidade, de feito, temos a nosa cámara eMCCD depositada no Byurakan Astrophysical Observatory de Armenia para instalala no telescopio de 2.6m. Tamén estamos a traballar cos nosos colegas chilenos no telescopio Soar de 4.2m. As nosas campañas e colaboracións co Special Astrophysical Observatory de Rusia están aparcadas, pero volverán.

P: *Sobre as aplicacións da astronomía no día a día: O foco de investigación do OARMA está posto no estudo dos sistemas de estrelas binarias. A pesares de que moitos estudantes ansiamos como mera finalidade do estudo e da investigación a obtención do coñecemento no seu estado máis puro, hai tamén quenes se preguntan: Cales son as motivacións para o estudo das estrelas dobres?*

R: As estrelas dobres constitúen unha rica fonte de información astronómica. A partir do seu estudo accédese a datos tan importantes en Astrofísica como as masas estelares, tamaños, distancias, perda de masa, intercambio de masa entre as compoñentes, binarias con compoñentes variables, de raios X, con compoñentes evolucionadas, etc. É un mundo con moitísimas posibilidades. Técnicas como a fotometría usada nas binarias

eclipsantes ou a espectroscopia nas binarias espectroscópicas foron as técnicas maioritariamente empregadas para poder descubrir os exoplanetas a finais do século pasado. (...).

P: *Pode a investigación de estrelas dobres contribuír ao progreso de grandes teorías da Física de actualidade?*

R: O avance do perihelio do planeta Mercurio é moi lento, pero no caso de binarias con compoñentes case en contacto é moito máis rápido e se pode constatar en moito menos tempo. Esta foi unha das predicións da mecánica relativista. Se nos fixamos en obxectos compactos como estrelas de neutróns ou incluso buracos negros, os casos de binariedade foron fundamentais para detectar as ondas gravitatorias. Seguro que no futuro os sistemas dobres e múltiples sorpréndenos en xeral con novas aplicacións.

P: *Investigando a maiores sobre a súa traxectoria profesional, gustaríame coñecer un pouco máis sobre a súa relación coa Unión Astronómica Internacional (IAU). Vostede foi presidente da Comisión de Estrelas Dobres e Múltiples da IAU: Cales son os principais obxectivos da Comisión 26 dedicada a sistemas de estrelas dobres e múltiples?*

R: Eu fun elixido por votación de tódolos membros, Vicepresidente da Comisión 26 (Double and Multiple stars) para o período 2006-2009, e como é costume o Vicepresidente ocupa a Presidencia nos tres anos seguintes. No meu caso entre 2009 e 2012. (...). Os seus obxectivos son potenciar a investigación nesta importante área da astronomía, promovendo reunións, e influíndo nos comités de asignación do tempo en grandes telescopios para que os programas de observación de binarias sexan aceptados. Ben é sabido que na actualidade acádase pouco tempo dado a longa lista de solicitantes. Incluso hai veces nas que só tes unhas horas para observar os teus obxectos.

P: *En que sentido facilita a labor investigadora en astronomía a existencia de Organismos como a IAU?*

R: O que facilita a labor investigadora máis que os organismos son os contactos persoais, que efectivamente adoitan acadarse en congresos ás veces organizados por eses organismos, neste caso a IAU. Estes contactos son esenciais para a elaboración de traballos conxuntos, para compartir tempo de observación en grandes telescopios,



e en definitiva ter con quen contactar cando necesitas algo en relación coa túa investigación. A IAU é o organismo que a nivel mundial coordina a investigación astronómica en tódolos seus campos. É fundamental a súa existencia, porque un foro de profesionais é o mellor sitio para debater cuestións importantes. Por exemplo, lembrome da Asamblea Xeral da IAU en 2006 en Praga cando se decidiu por votación dos asistentes a nova definición de planeta que deixou fóra a Plutón, o cal dende entón, xunto con Ceres, Eris, Makemake, e Haumea forman o grupo de planetas ananos.

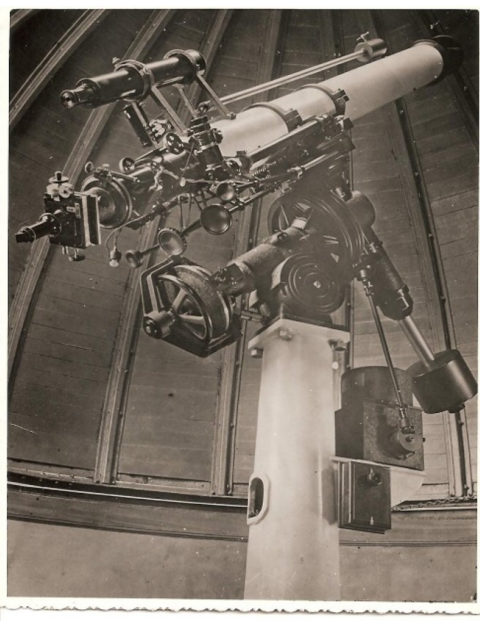


Figura 2: Trátase do refractor Steinheil que Ramón María Aller mercou en Alemaña e que chegara a Lalín de abril de 1925, polo tanto agora vai cumprir 100 anos con toda saúde. O instrumento estivo en Lalín ata 1944, cando veu a Santiago de Compostela para ser instalado na cúpula grande. Finalmente, en 2003, foi baixado a súa ubicación actual na sala meridiana, onde segue a estar operativo.

P: *Sobre o futuro da investigación en astronomía: Como pensa que evolucionará o panorama de investigación en astronomía nos vindeiros anos? Cales son os principais retos para os investigadores e astrónomos do futuro?*

R: Coido que os retos non van ser moi diferentes aos que vivimos as xeracións anteriores. A clave do éxito, como en calquera outra ciencia, é estar o mellor preparado posible en todos os eidos: manexar idiomas, alto nivel en informática, bos coñecementos de Física e Matemáticas, estar disposto a pertencer a grupos competitivos alá onde esteas te necesiten, e sobre todo amar á Astronomía. As oportunidades acaban aparecendo sempre. Actualmente hai moitísimos máis medios, grandes telescopios e radiotelescopios, unha inmensidade de datos obtidos por sondas espaciais, bos investigadores e titores, pero tamén é certo que existe unha competitividade tremenda.

P: *Finalizamos cunha reflexión: Sen falar da astronomía máis técnica ou computacional e remitíndonos á astronomía observacional máis pura. Pode ser ben certo que os estudantes botemos en falta en nós mesmos esa curiosidade coa que comezamos os nosos estudos. E pode tamén que a moitos nos gustaría poder traballar sobre esa intuición e esa destreza tan práctica da que dispoñían (por exemplo) os antigos astrónomos, a base de observar pacientemente a natureza que lles rodeaba. En que aspectos considera que os científicos modernos deberíamos aprender deles?*

R: Hoxe todo vai máis rápido. Non son partidario dos graos, cando eran licenciaturas o alumnado tiña máis tempo para acudir a actos culturais porque eran cinco anos en vez dos catro de agora. Ter quitado un ano é un erro porque non se está en mellor sitio que na universidade para aprender, e o tempo de estar aquí marca para o futuro. Agora todo o mundo está super ocupado e xa nin se lle ocorre participar noutras cousas. Cando eu puxen en marcha o PECAS en 1997 participaban 400 persoas, e alumnado dos últimos anos ou novos licenciados axudábanme nas clases de Astronomía do Cuarto Ciclo. Os científicos modernos temos que ter máis tempo para pensar nun ambiente sosegado.

Pechamos esta entrevista cunha inspiradora cita do astrónomo Carl Sagan: «*We are a way for the Cosmos to know itself*»

Física e filosofía: Irmás

Mauro Garrido Rodríguez

Sobre a física, a filosofía e a carreira

Por que a maioría dos que estamos nesta carreira entramos en primeiro lugar? Acaso non o fixemos para lograr entender os estraños fenómenos da cuántica, lograr comprender, por exemplo, con que motivo se idearon experimentos mentais como o do gato de Schrödinger? Ou para saber que era a luz realmente, comprender as leis de Maxwell con profundidade? Ou foi acaso coa inspiración case kepleriana de, fascinados pola danza cósmica dos planetas ao redor das súas órbitas, querer chegar a entender o movemento deses xigantes orbes, suspendidos na negrura do baleiro? Ou quizais tirando máis cara o clásico, non sería por lograr, con papel e lapis, entender por que a Terra xira sobre si mesma, quizais a través dun péndulo en risco de rotura en medio e medio da facultade?

Fáisenos claro que os motivos máis profundos para estudar esta ciencia son máis filosóficas ca “enxeñerís” ou matemático-formais (o cal non quita que estes aspectos teñan interese), mais, que é o que promociona a nosa carreira? Podemos asegurar que realmente coñecemos con profundidade os temas dos que tratamos, ou é que acaso só nos limitamos a resolver crebacabezas, dun xeito que podía ser totalmente alleo á natureza da realidade física? Mantemos o suficiente contacto co que realmente estudamos, é dicir, cos experimentos? Ou é que cando facemos experimentos limitámonos mais ben a recopilar datos durante horas primando moito máis o ter unha memoria que presentar máis que adquirir unha intuición sobre o fenómeno?

Semella que o alumnado, quizais inconscientemente, busca achegarse á física de xeito máis filosófico, isto é, en primeiro lugar, afonda con profundidade nos conceptos en si, nos fundamentos, como por exemplo, se estamos dando a relatividade xeral, preguntarse, baixo o visto: que é realmente o tempo? Ou se é o caso da mecánica cuántica: é a realidade independente da obsección? É a función de ondas algo *real* ou máis ben un mero instrumento matemático? Estas preguntas van incluso máis aló: explica a física realmente o universo ou só constrúe modelos útiles? Cales son os límites da física?

Ningunha destas preguntas é nin tan sequera minimamente tratada no grao: parece que o “cala e calcula”, lema característico de comezos da física de partículas e que pretendía silenciar o cuestionamento fundacional

das súas bases, invadiu a física actual tanto nas aulas como nos propios investigadores. Non se negará a utilidade deste pensamento na época: logrou que a cuántica chegase a explicar o máximo rango de fenómenos sen ter que gastar tempo nunha reflexión filosófica profunda dos seus piares; así se obtivo a que é posiblemente a teoría con predicións máis precisas de tódolos tempos. Mais quizais, á marxe de que preguntarse polos fundamentos é algo que sempre se debería de facer, fose incluso máis proveitoso para a física fundamental actual cambiar esta filosofía pragmática dada a era de estancamento na que vivimos, no sentido de que hai múltiples problemas abertos (e que levan así bastante tempo) para os cales non tivemos aínda unha gran revolución ao nivel da relatividade ou do nacemento da mecánica cuántica que os resolvan, como opinan autores como Lee Smolin ou Sabine Hossenfelder.



Figura 1: diálogo entre Einstein e Bohr sobre a física cuántica, 1925. Imaxe da wikipedia.

Rompamos co tan repetido lema de “ninguén entende a mecánica cuántica” para evitar cuestionar as súas bases; non nos limitemos a calcular cegamente e busquemos ante todo coñecer de xeito profundo a realidade, o mundo natural, físico. Como ben resumiría Einstein, un dos grandes filosofo-físicos, na súa obra divulgativa *A evolución da física* (1938), a gran motivación da física é de índole metafísica. «*A través de todos os esforzos, en cada unha das dramáticas loitas entre as concepcións vellas e as novas, reconécese o eterno anhelo de comprender, a crenza sempre firme na harmonía do mundo, crenza continuamente reforzada polo encontro de obstáculos sempre crecentes cara a súa comprensión*».



A morte do xeocentrismo: dos gregos a Kepler

Santiago González Gómez

Unha pequena historia do modelo xeocentrista, dos seus defensores e detractores, dende os seus inicios gregos ata o seu ocaso na Idade Media.

Espertei coma dun sono, unha nova luz
iluminoume *Johannes Kepler*

Nuns tempos onde o avance da ciencia contrasta co auxe das teorías conspiranoicas como o terraplanismo, cómpre ás veces lembrar como os seres humanos foron evolucionando o seu pensamento científico. Unha das preguntas fundamentais na nosa Historia é que lugar ocupamos no Universo, e nesa discusión cobra especial importancia unha teoría agora xa descartada, pero que nos acompañou durante milenios: o xeocentrismo.

Os modelos gregos: Platón, Eudoxo e Ptolomeo

Os inicios das teorías cosmolóxicas sobre a forma do universo son case sempre de carácter xeocentrista, como é esperable dende un punto de vista lóxico (é a forma do Universo máis sinxela posible que concorda con observacións básicas dende a Terra), pero tamén mitolóxico (a raza humana como centro do mundo). Por exemplo, os exipcios coidaban que o mundo era plano, con Exipto no seu centro. En Grecia, existiron nas primeiras idades filosóficas diversas teorías sobre a forma do Universo. A escola pitagórica foi a primeira en suxerir que a Terra podería non ser o centro, senón orbitar ao redor dun “lume central” (que non do Sol). Estas teorías buscaban máis unha disposición mítica ou filosófica ca unha modelización dos movementos dos astros visibles.

Cara ao século IV a.C., a teoría máis aceptada entre os filósofos gregos xa era que a Terra era unha esfera (non plana!) no centro do Universo. A inmovilidade da Terra parecía indiscutible, pois nesta época razoaban que, se non se observaba movemento aparente das estrelas, ou estas estaban moito máis lonxe do que imaxinaban, ou a Terra estaba queda, sendo esta segunda a hipótese preferida. Por exemplo, na súa obra *A República*, Platón compara o universo co fuso dunha roca de fiar. Para el, os astros dispóñense como oito fusaiolas² (de fóra a dentro: as estrelas fixas, Saturno, Xúpiter, Marte, o Sol,

Venus, Mercurio e a Lúa) que xiran arredor da Terra. Aristóteles tamén defendeu este modelo, facendo especial fincapé no movemento dos astros, que para el debía de ser circular uniforme.

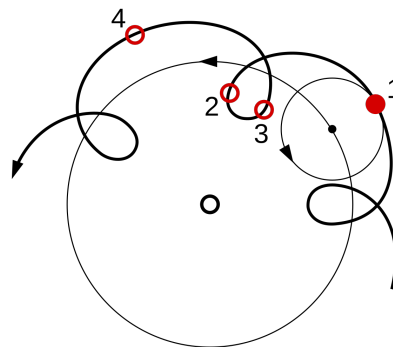


Figura 1: Órbita con epíclis, que Kepler chamaba “pretzels”.

O principal problema do sistema defendido por Platón e Aristóteles é que non encaixaba coas observacións empíricas: os planetas varían a súa velocidade, cambian de luminosidade, ás veces producen un movemento retrógrado... Platón propúxolle a Eudoxo de Cnido salvar a súa teoría, e este respondeu formulando o modelo de esferas homocéntricas. Nel, cada astro situábase nunha esfera concéntrica coa Terra, movéndose no seu Ecuador, pero esta esfera movíase á súa vez unida polos seus polos a unha segunda esfera, que á súa vez movíase unida a unha terceira ou mesmo a unha cuarta; como nunha esfera armilar. O modelo de Eudoxo precisaba de 27 esferas en total, e foi quen de escollelas de tal xeito que se replicaba con bastante precisión o movemento celeste. Malia elegante, a teoría de Eudoxo non foi moi aceptada, sendo preferido o modelo de ciclos e epíclis de Apolonio e Hiparco. Nel, as órbitas (ciclos ou deferentes) en torno ao Sol tiñan dentro outras órbitas (epíclis), e eran nestas onde se movían os astros.

Este modelo foi finalmente refinado por Ptolomeo, quen desprazou á Terra con respecto ao centro das órbitas, de xeito que estas pasaban a ser excéntricas, e modificou a

²Pezas en forma de disco aburacado que se colocan no extremo inferior do fuso para enfiar.

uniformidade do movemento aristotélico coa introdución dun punto (distinto da Terra) chamado ecuante con respecto ao cal si era uniforme a velocidade angular. Aínda que este modelo, como os anteriores, era puramente xeométrico e non tentaba explicar o por que desta forma das traxectorias, a súa capacidade de facer predicións elevouno a modelo xeocéntrico por excelencia.

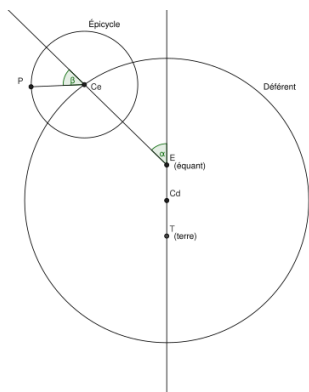


Figura 2: Á dereita, modelo da ecuante de Ptolomeo. Imaxes de Wikipedia.

O xeocentrismo tiña, porén, os seus detractores. Aristarco de Samos, que foi o primeiro en probar a esfericidade da Terra coa medición de sombras, tamén empregou eclipses para realizar unhas precarias estimacións sobre o tamaño do Sol, da Lúa, e das súas distancias á Terra. Aínda que moi trabucadas, serviron para que Aristarco se decatase de que o Sol era moito maior do que daquela se pensaba, levándoo a propoñer un modelo heliocéntrico. Outros filósofos menos radicais propuxeran sistemas nos que Mercurio e Venus xiraban ao redor do Sol (pois parecían sempre manterse preto del), malia que este o fixera respecto da Terra. Estas teorías supoñían un avance enorme ao admitir que non todo revolvía arredor da Humanidade.

As dúbidas árabes. Copérnico e Kepler

O modelo ptolemaico seguiu sendo empregado durante a Idade Media por astrónomos e científicos. En Europa, a Igrexa favoreceu o modelo xeocéntrico por concordar coa teoloxía desenvolta ata daquela. Cada vez que algunha observación non parecía encaixar co modelo, este era corrixido engadindo máis epiciclos (esferas dentro de esferas...) ata que se acadou un número ridículo deles.

A astronomía florece no mundo árabe, onde se comeza a dubidar do modelo ptolemaico. Por exemplo, o gran astrónomo Nasir al-Din al-Tusi atopou inconsistencias no traballo de Ptolomeo, favorecendo un modelo moi complexo onde as órbitas, aínda que xeradas por circunferencias, non eran circulares. Ningún destes modelos

prosperou, pois aínda sendo dubidoso o modelo ptolemaico, as súas predicións non podían ser igualadas.

Na Europa cristiá o traballo astronómico de calidade recupérase a finais da Idade Media, as novas ideas filosóficas humanistas rexeitan o hieratismo cristián e abren a porta a un Universo diferente. Nicolás de Nusa razoa que se todo se move, a Terra tamén o ha de facer, aínda que o movemento que admite é rotacional, non translacional. Johann Müller Rixiomontano compara a Terra cun espeto de carne xirando nunha fogata (o Sol). Para el, non é o Sol o que precisa á Terra, como non é o lume o que precisa o espeto, senón ao revés. Este é precisamente o pensamento necesario para descartar o xeocentrismo, pero seguíuse sen superar o modelo ptolemaico; este paso darase en 1543 coa publicación do *De revolutionibus orbium coelestium* de Copérnico.

O polaco Nicolás Copérnico notou durante os seus estudos en Italia que os pensadores da época non se poñían de acordo no movemento dos planetas, inferiu que todos debían de estar pasando algo por alto. Tras investigar as teorías alternativas propostas dende o tempo dos gregos, convenceuse primeiro de que a rotación da Terra era moito máis lóxica que un movemento dos astros polo ceo a velocidades vertixinosas. Logo, aprendendo que algúns filósofos consideraran a posibilidade de que Mercurio e Venus orbiten ao redor do Sol, deu o paso de suxerir que o resto de planetas, por tanto, tamén a Terra, facían o mesmo. Aínda que Copérnico chamou moito a atención entre os seus contemporáneos, non acabou de establecer a súa teoría, pois o seu sistema, malia explicar os movementos retrógrados e os cambios de luminosidade dos astros de xeito moi elegante, non melloraba as predicións do sistema ptolemaico. Isto débese a que Copérnico continuou empregando órbitas circulares, influenciado polo pensamento aristotélico. Sería Johannes Kepler quen, partindo das meticulosas observacións astronómicas do seu mestre Tycho Brahe, chegou á conclusión de que as órbitas debían de ser elípticas, salvando o sistema de Copérnico. Newton foi quen de explicar as traxectorias de Kepler coa súa teoría da gravitación, dando por fin unha explicación ao movemento planetario. Púxose o primeiro cravo do ataúde da teoría xeocéntrica.

Referencias

- [BM11] Carl B Boyer e Uta C Merzbach. *A history of mathematics*. John Wiley & Sons, 2011.
- [Dre06] John Louis Emil Dreyer. *History of the planetary systems from Thales to Kepler*. University Press, 1906.

Momentum!

Aquí chega a revista por e para estudantes da Facultade de Física USC! Cansos de que o momento lineal e angular guíen as nosas traxectorias, imos escribir unha nova historia; entrevistas, divulgación, filosofía da ciencia e moitos artigos dispares cargamos coa inercia de formar unha nova fiestra para o alumnado. Tes nas túas mans esta oportunidade, deixa que o magnetismo te leve e participa, sé parte deste proxecto: escribe, le, comparte, suxestiona... A revista é real e as túas ideas poden ser máis que imaxinación, non dubides en deixar a túa pegada neste recuncho físico, onde hai física máis aló das aulas. Non dubides unirse ao proxecto!

Agradecementos:

Dende a dirección da revista, queríamos agradecervos a todos por achegarvos a este proxecto. Non hai revista sen lector! Pero, para facela, estivo moita xente implicada, que non podemos pasar por alto.

Gracias ao noso estimado J. A. Docobo pola súa predisposición e boa vontade para participar nun proxecto que aínda non existía, e a Ánxel Costas por poñernos en contacto.

Gracias a todas as persoas que se interesaron polo proxecto, simplemente por interesarse, aínda que ao final non participaran directamente.

E por suposto, tamén temos que mencionar ao equipo decanal da nosa facultade, que nos apoiou e motivou dende o primeiro momento, e ofreceu financiar a impresión e colaborar con nós nesta primeira edición. Non sería posible sen eles!

Edicións anteriores:



Grupo de Whatsapp:

