

Eclipses e Geometrias

um Almanaque por **zeca bamboo**

Parte 9 versão [xitizap](#) PDF (1 MB)

[download da versão integral \(7 MB\)](#)



o Eclipse na Beira

Por mais brilhantes e prolíficos que tivessem sido os desenvolvimentos astronómicos anteriores, o facto é que há 200 anos que a física interpretava os movimentos no Universo segundo as leis de Newton e, como um dia disse **Richard Feynman**,

a primeira vez que se descobriu um erro nestas leis, a maneira de o corrigir também foi logo descoberta.

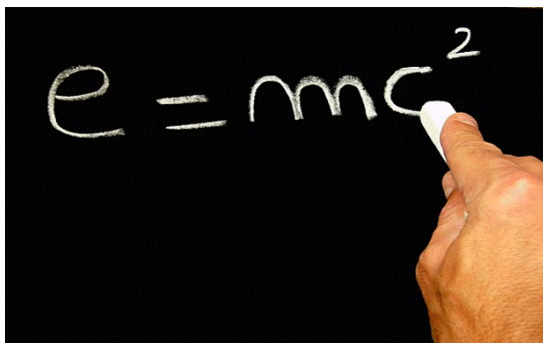
Tanto o erro, como a sua correcção, foram descobertos por **Albert Einstein** em **1905**, quando ele propõe a sua **Teoria Especial da Relatividade**.

Recorde-se que o princípio da relatividade havia sido originalmente estabelecido por Newton num dos seus corolários às leis do movimento e, no essencial, esse era um princípio que se aplicava sobretudo em mecânica.

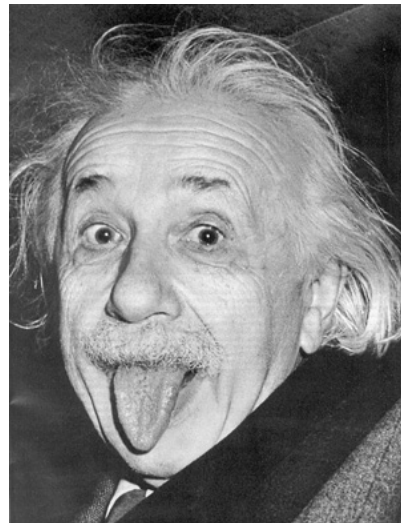
A partir de meados do século XIX, o princípio passa a ser intensamente utilizado ao nível da electricidade, magnetismo e óptica, e uma longa série de trabalhos de vários cientistas viria a ser brilhantemente sintetizada nas equações de **Maxwell** para o electromagnetismo - equações que descrevem electricidade, magnetismo e luz segundo um sistema uniforme e unificado.

Contudo, estas equações pareciam não estar conformes ao clássico princípio da relatividade newtoniana e pensou-se que algo estaria errado nas equações electrodinâmicas de Maxwell. Até que **Lorentz** nota um curioso resultado quando recorre a algumas substituições (x' , y' , z' , t') nessas equações - surpreendentemente, o sistema unificado de Maxwell tornava-se consistente quando a *transformada de Lorentz* era aplicada.

Seguindo uma sugestão de **Henri Poincaré**, Albert Einstein propõe então que, como princípio, *todas as leis da física deveriam permanecer inalteradas sob a transformada de Lorentz*; ou seja, fosse qual fosse o sistema de referência, as leis da física deveriam conservar a sua forma.



massa (m) e energia (E) são uma mesma coisa e **$E = mc^2$**



Einstein propõe então que se altere, não as leis da nova electrodinâmica, mas as leis da velha mecânica e, no caso da segunda lei de Newton, isso implicava admitir que a massa de um corpo não seria afinal constante - ela dependeria da sua velocidade. Einstein adopta então uma *transformada lorentziana* para a massa de um corpo e, em 1907, concluía uma revolucionária simplicidade:

Mas como sugere um seu biógrafo, é curioso notar que os seus quatro primeiros trabalhos, publicados entre 1901 e 1904, não faziam prever a explosiva criatividade de **1905** - o *annus mirabilis* de Albert Einstein.

Repare-se na dinâmica: em Março de 1905, Einstein aborda os *quanta* de luz e estabelece o efeito fotoeléctrico, um trabalho que mais tarde lhe proporcionaria o prémio Nobel; em Abril 1905, na sua tese para PhD em Zurique, Einstein aborda as dimensões moleculares; em Maio 1905, publica a Teoria da Relatividade Estrita (especial) e, em Setembro 1905, num desenvolvimento do trabalho anterior, Einstein demonstra que a massa de um corpo se relaciona com a energia radiante que ele emite. Dezoito meses depois, Einstein estabelece a relação **$E=mc^2$** .

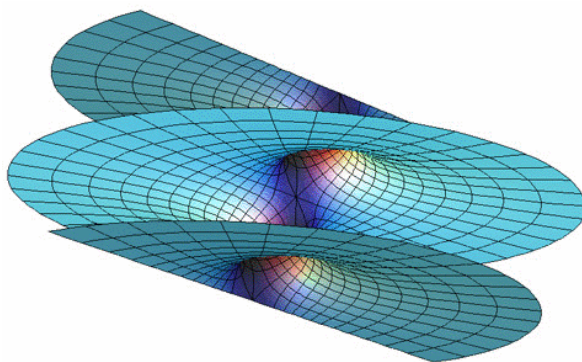
Mas não foi esta equação **$E=mc^2$** , ou mesmo os outros geniais trabalhos de 1905, que viriam a catapultar Einstein para a fama.

O que Einstein havia estabelecido em termos de relatividade especial (estrita), apenas cobria casos de diferentes sistemas que se moviam com velocidades relativas constantes, e a sua equação aplicava-se certamente a tais casos - *mas será que a equação permaneceria verdadeira se fossem excluídas essas restrições?*

Entre outras, essa era uma questão que o deixava intranquilo, e em 1907 Einstein tem o primeiro lampejo de uma **solução mais geral**.

Estava ele sentado no seu gabinete do serviço de patentes, quando a ideia lhe ocorre: *porque não reflectir sobre a própria natureza do espaço, seus tecidos e geometrias? Como é que o espaço seria afectado pela massa ou energia dos objectos que o povoam?*

As suas investigações levaram alguns anos, em parte porque, segundo contam, embora Einstein fosse único em termos de física, em matemática ele era apenas muito bom. Por sorte, para assisti-lo em matemática, Einstein contava com o seu amigo Marcel Grossman que exaustivamente lhe cobria os mais recentes



desenvolvimentos da matemática - incluindo o *cálculo tensorial* e uma *nova geometria não-euclidiana* que **Bernhard Riemann** (1826-1866), János Bolyai (1802-60) e Nikolai Lobachevski (1739-1856) haviam começado a teorizar no século anterior. Uma geometria que, em vez de apenas três, permitia um qualquer número de dimensões, e na qual Riemann, em 1854, havia introduzido o conceito de

“*dimensões mais altas*” - um conceito que lhe permitia sugerir que as leis da física se tornavam mais simples quando expressas nessas novas dimensões.

Mas, em termos práticos, o que seriam essas *dimensões mais altas*?

Como oportunamente me recordou o mandarim, todos nós estamos familiarizados com as tradicionais três dimensões - comprimento, largura, profundidade; estas são dimensões espaciais que nos permitem descrever qualquer objecto e sua posição num espaço tridimensional. E, embora para nós seja matematicamente possível conceber tantas dimensões espaciais quantas se queiram, o facto é que,

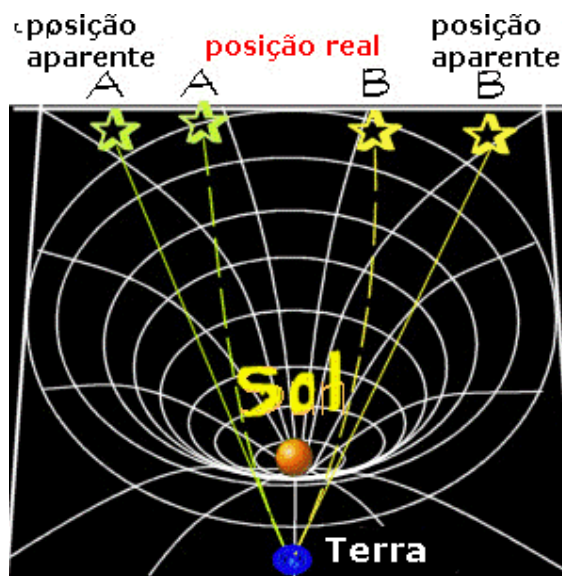
normalmente, não conseguimos visualizar espaços com mais de três dimensões.

Porém, conceptualmente libertado destas restritivas normalidades, Einstein imagina então **o tempo** como uma quarta dimensão – um *tempo* que sendo uma referência *não-espacial*, não descrevia o *onde* no espaço, mas o *quando* num sistema *espaço-tempo*. E, segundo este novo conceito, a posição de um qualquer objecto teria agora que ser descrita através de *quatro dimensões*, incluindo a do tempo.

A partir daí, Einstein desenvolve então uma plataforma teórica centrada em torno do seu genial lampejo de 1907: *quanto mais massa ou energia houver em qualquer lugar, mais o espaço e o tempo serão deformados em volta dele*.

A **Teoria Geral da Relatividade** que Einstein propõe em 1915/6 passou então a investigar o modo como as leis da física se alteravam quando *os sistemas de referência se moviam relativamente uns aos outros* e, segundo a perspectiva da sua teoria geral da relatividade, Einstein estabelecia que **o espaço-tempo deveria ser curvo** - concluía mesmo as condições em que a matéria influenciaria a curvatura do *espaço-tempo*. Einstein sugere também que, sob o efeito da gravidade, o movimento livre das partículas neste *espaço-tempo curvo* se faria segundo *geodésicas* – o caminho mais curto entre dois pontos nesse novo sistema. Incluindo os movimentos da luz.

Contudo, era fundamental comprovar cientificamente a ideia, mas, a Terra, o maior objecto assim à mão, não dispunha de massa e energia suficientes para induzir curvaturas no tecido do *espaço-tempo*. Einstein necessitava de maiores massas, e sugere então que um **eclipse total do Sol** deveria permitir aos observadores comprovar se a luz das estrelas era ou não afectada pela gravidade do Sol. *Como se curvaria aí o espaço-tempo*? Ele calcula então o desvio teórico que a trajectória da luz vinda do *cluster* Hyades deveria sofrer por influência do campo gravitacional do Sol - e prognostica 1.72".



Desbaratada que foi a oportunidade de um eclipse do Sol em 1914 devido à Primeira Guerra Mundial (1914-18), o eclipse solar mais próximo estava previsto para 29 Maio de 1919, e é Arthur Eddington quem toma a liderança científica e logística de uma expedição à **Ilha de Príncipe** (S.Tomé e Príncipe).

Embora a campanha haja sido perturbada por copiosas chuvas e carregadas nuvens, Eddington convence-se que bateu duas ou três boas chapas fotográficas e envia-as por barco para serem reveladas em Inglaterra.

Quando em Setembro, um Einstein inquieto com a falta de notícias procura saber o que se passa, uma tristeza o invade: com a humidade e os fungos, a emulsão das películas havia-se tornado tão gelatinosa que os resultados não poderiam ser invocados para justificar o detalhe e precisão que Einstein buscava – *centésimos de arco-segundo*.

Afortunadamente, já então o Império Britânico insistia em prudentes tradições, e uma delas seria que, em qualquer expedição, alguma coisa acabava sempre por correr mal; e terá sido essa uma das razões pelas quais Eddington enviou também uma segunda expedição a **Sobral**, no interior do Ceará (Brasil).

Para este grupo de Sobral, que ia munido de um telescópio dotado de uma base mecânica mais moderna, os objectivos da expedição permaneciam os mesmos – confirmar as previsões de Einstein quanto à *curvatura do espaço-tempo*.



Após o eclipse total do Sol, que em Sobral decorreu sem nuvens, logo que as chapas fotográficas foram reveladas, as mensagens de euforia começaram a circular. Bertrand Russel recebe de um seu colega a seguinte mensagem: "A teoria de Einstein foi completamente confirmada. O deslocamento previsto foi $1''.72$ e o observado foi $1''.75 \pm .06$ ".

E, no seu relatório à Royal Society of Astronomy, Eddington oficialmente "confirmava a esquisita teoria de Einstein de espaços não - euclidianos."



As celebrações foram em grande estilo, e a perplexidade que se seguiu também, sobretudo quando os *media* começaram a propalar que apenas uma dúzia de sábios poderia perceber o que tudo aquilo significava. Porém, de um eclipse para outro, Einstein tornava-se o profeta da nova ciência.

A Teoria Geral da Relatividade permitia também explicar velhos mistérios da astronomia, como por exemplo, a peculiaridade do periélio de Mercúrio e o *redshift* gravitacional. Mas esta era sobretudo uma nova teoria que assumia particular importância ao nível das grandes massas de estrelas e galáxias, e das suas distâncias relativas - uma escala onde as forças newtonianas haviam enfrentado notórios problemas.

Einstein considera então ser crucial a necessidade de se conhecer a *geometria do espaço-tempo* e admite que isso requereria um conhecimento de todo o sistema material – do Universo afinal porque, para ele, uma velha questão permanecia:
que pretenderia Deus quanto ao Universo?

Como segundo Einstein, *Deus não jogaria aos dados*, sobretudo no momento da criação do mundo, ele passa a concentrar-se na pesquisa de uma **teoria unificada do campo** que incorporasse numa nova geometria universal não só a gravitação e o electromagnetismo, mas qualquer outras das forças que regulasse a matéria.

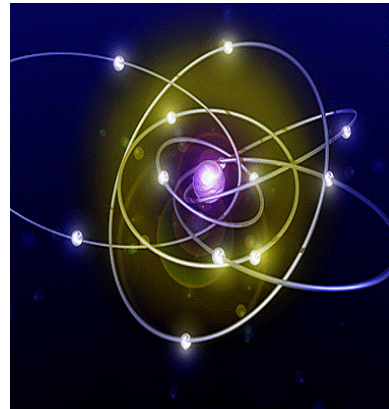
Entretanto, apesar de cruzado por sucessivos azares, em 1924 Einstein publica três trabalhos sobre **mecânica quântica**, onde inclui a descoberta da chamada *condensação Bose-Einstein*, um novo estado da matéria que só viria a ser confirmado em laboratório em 1995. E, segundo contavam até há tempos, esta teria sido a sua última seminal contribuição para a física teórica.

Até ao fim da sua vida, a unificação da física haveria de transformar-se na sua maior preocupação, e Einstein tentou várias aproximações sem que contudo alguma delas funcionasse. Sucessivamente atingido por doenças graves, e circunstancialmente investido de enormes esforços políticos na promoção da paz, Einstein não voltaria a atingir os seus padrões de epistemologia científica.

Entretanto, nos interstícios dos *infinitos e infinitésimos*, em 1925 a **mecânica quântica** mostrava cada vez mais vigor criativo mas, apesar de Einstein ter sido um dos seus celebrados iniciadores, esta era uma teoria que viria a provocar-lhe fundamentais desconfortos.

A evolução da teoria quântica merecia-lhe progressivos silêncios e distâncias, e Einstein perturbava-se com o modo como os novos teóricos quânticos manipulavam o conceito de probabilidade nas suas **mecânicas estatísticas**.

Num celeberrimo debate com **Niels Bohr**, que começou na conferência de Solvay em 1927, e na presença da mais refinada plateia (Planck, Broglie, Heisenberg, Schrodinger, Dirac), Einstein distancia-se deliberadamente do diálogo. Note-se que Einstein havia declinado apresentar um trabalho à conferência e nela o seu modo de estar foi assim descrito: "... *pouco disse para além de uma simples objecção a uma interpretação da probabilidade ... depois, quedou-se em silencio.*"



Naturalmente, um debate mais explícito e substancial prosseguiu durante anos, entre Einstein e Bohr, embora acordo fosse coisa a que nunca tivessem chegado.

Mas a ciência reservava à mecânica quântica a oportunidade de um novo salto epistemológico e, sempre que se falava do assunto, o mandarim não se abstinha em citar Jack Klaff a propósito de deipnosofia - a arte de se fazer notado em jantares e cocktails.

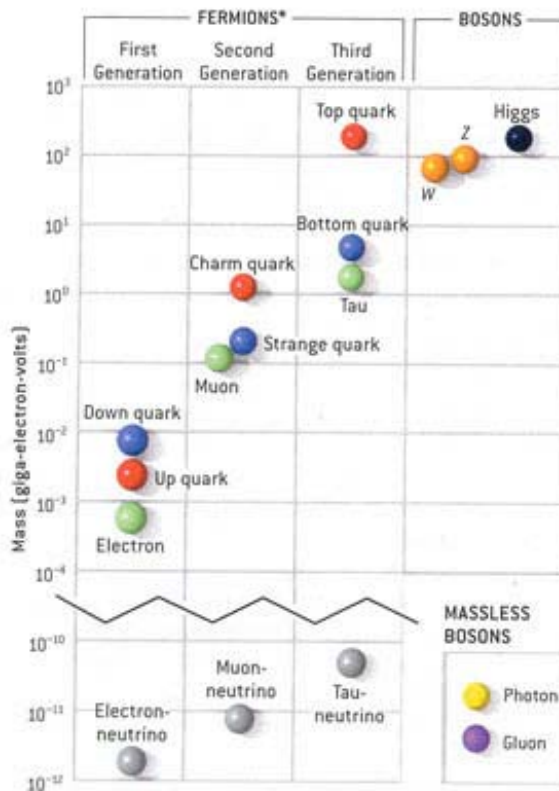
Como refere Jack Klaff, um notável diletante, quer se aborde o *infinitamente grande universo* ou o *infinitamente pequeno mundo das partículas de luz e matéria*, apenas dois factos podem ser estabelecidos com meridiana clareza: facto #1: ninguém conhece bem o oceano quântico profundo e, facto #2: dos mais honestos aos mais brilhantes, todos os físicos partilham um acordo: *a natureza e o universo são surpreendentes, podem parecer absurdos, e são normalmente desconcertantes para o melhor dos cientistas.*

E para quem lamenta a sua própria incompreensão quanto ao assunto, Jack Klaff sugere que não será má ideia evitar incontinências verbais, sobretudo em jantares impressionistas - tal como aliás o fazia Niels Bohr, e com rotunda frequência. Klaff conta até que, entre jantares, Niels Bohr dedicava-se intensamente a calibrar cada palavra, e que, normalmente, ele entremeava longuíssimos 30 minutos entre **um ... e ... mas**, já que, segundo Bohr, *de algum modo estamos suspensos em linguagens*.

O termo **quantum** foi cunhado por Max Planck em 1900 e, para ele, o *quantum* representava um *pacote de energia*. Note-se que o termo poderá parecer estranho, particularmente se nos lembrarmos que, em latim, *quantum* significa *quanto* ou *quão grande*, e que, no caso da teoria quântica, o vocábulo é suposto aplicar-se ao infinitamente pequeno.

Curiosamente, e tal como Copernicus 500 anos antes, **Max Planck** em 1900 havia deparado com um problema físico e, ao resolvê-lo, acabou por despoletar um milhão de outros que ele sempre tentou evitar. E um dos mais críticos problemas a enfrentar era a chamada *Catástrofe Ultravioleta*, fenómeno que resultava da radiação de um enigmático **corpo negro**.

Para a física desses tempos, constatar se os conceitos funcionavam não seria a questão essencial. Exigia-se que as matemáticas também funcionassem. E, seguindo esta linha de pensamento, quando Max Planck constata que por maior que fosse o calor injectado no sistema a putativa explosão ultravioleta continuava a não ocorrer, Jack Klaff conclui peremptoriamente que Planck havia feito o lógico: um bocadito de batota, do tamanho da sua constante, **6.626076×10^{-34} Js**, que é de facto uma coisa muito pequena.



Planck regressa então à vida real, o que é normalmente a parte mais difícil para qualquer cientista, e nessa altura constata que afinal não era ele quem fazia batota - era a própria Natureza, que não aquecia nem refrigerava o *corpo negro* segundo processos contínuos, mas antes através de pulsares secos e descontínuos - os *quanta*.

Entretanto, faz agora mais de 80 anos que os físicos têm vindo a *partir os átomos* em peças cada vez mais pequenas, e um crescente número de partículas continua a ser descoberto no interior dos átomos. Tudo indica que quanto mais profundo se observa, mais partículas se descobrem, e ainda hoje prossegue a busca de neutrinos, bosons e leptosquarks.

Conta-se mesmo que, quando já eram mais de 50 as partículas encontradas, Enrico Fermi

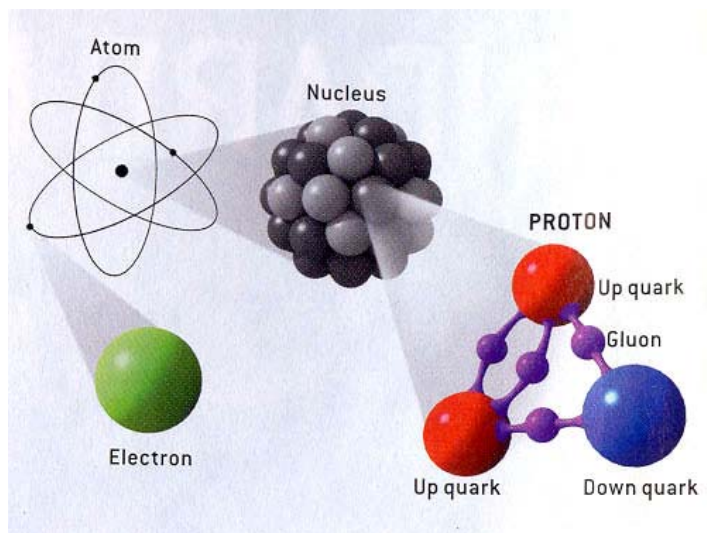
passou a insinuar que só mesmo um botânico poderia lembrar-se do nome de todas elas.

Jack Klaff sugere entretanto uma periodização para a mecânica quântica: a) um primeiro período em que Planck e Einstein demonstram os fundamentos quânticos sem que alguém os haja percebido; b) um segundo período em que a teoria de Bohr permitiu trabalhar com átomos e luz, de forma muito proveitosa, embora incompreensível e, finalmente, c) um período clássico, durante o qual, notáveis teóricos quânticos estabeleceram normas físicas tão eloquentes que frequentemente passaram despercebidas.

Mas o facto é que em poucos anos se alteraram todas as noções de espaço, tempo, gravidade, energia e matéria, provando-se que não só o espaço-tempo se curva, como ainda que tudo o que se desloque a velocidade superior à da luz regressará no tempo. Demonstra-se mesmo que, quanto mais veloz for o movimento, mais deformados se tornam os corpos e mais vagarosamente funcionam os *cérebros humanos*.

Grande parte destas intrigantes formulações quânticas causava em Einstein um crescente desconforto dado que introduziam na física a possibilidade do não-causal, do aleatório ou mesmo do *estocástico* que era um outro termo sugerido para cocktails ao invés de conjectura.

Mas, alheados de tais dúvidas, os novos quânticos insistiam em procurar novas intranquilidades científicas e, por volta dos anos 1940's, elas chegaram, e agora sob o nome de *Electrodinâmica Quântica*.



Embora o Modelo Standard esteja actualmente em re-formulação – provavelmente pela introdução de partículas super-simétricas - as partículas por ele descritas são suficientes para descrever o mundo do dia-a-dia (à excepção da gravidade).

No Modelo Standard as partículas fundamentais da vulgar matéria são o **electrão**, o **up-quark** (u) e o **down-quark** (d). Os *quarks* ligam-se em trios para formar **protões** (uud) e **neutrões** (udd) que por sua vez constituem os **núcleos**. Além destas partículas, o Modelo Standard prevê a existência de um **bosão Higgs** que, embora ainda não tenha sido directamente detectado em experiências, é suposto interagir com as outras partículas do Modelo Standard de uma forma especial que lhes dá massa.

O Modelo Standard descreve 3 das 4 forças conhecidas: **electromagnetismo**, a **força-fraca** (que está envolvida na formação dos elementos químicos) e a **força-forte** (que conserva juntos os protões, neutrões e o núcleo). As forças são mediadas por *partículas-força*: **fontões** no *electromagnetismo*, os **bosões W e Z** na *força-fraca* e **gluões** no caso da *força-forte*.

No caso da *aravidade*, que não é incluída no Modelo Standard, postula-se a existência de **aravitrons**.