

**1905: ANNUS MIRABILIS**  
**2005: ANO INTERNACIONAL DA FÍSICA**

**CID MANZANO, Ramón**  
*IES Xulián Magariños*  
NEGREIRA

*«A maior parte das ideas fundamentais da ciencia son esencialmente sinxelas, e por regra xeral poden ser expresadas nunha linguaxe comprensible para todos».*

*Alberte Einstein (1789-1955)*

Na súa Sesión nº 59 celebrada en xuño de 2004, a ONU proclamou o ano 2005 como o Ano Internacional da Física.

Na exposición de motivos que sustentan esa declaración faise mención ó recoñecemento debido á Física por termos proporcionado un mellor entendemento da natureza, tómasse en consideración que a Física e as súas aplicacións constitúen a base de moitos dos avances tecnolóxicos actuais, enténdese que a Física debe estar presente na Educación para subministrar as ferramentas necesarias para o desenvolvemento da humanidade, e finalmente, tense moi presente que no 2005 celébranse os 100 anos da publicación por Alberte Einstein dunha serie de traballos científicos que darían lugar ó nacemento da Física Moderna.

Neses traballos de 1905 quedan establecidas as bases da ciencia moderna cando Einstein aborda a natureza atómica e molecular da materia, o comportamento cuántico da luz, a nova concepción do espacio e o tempo, e a relación masa-enerxía. Como se pode ver, estamos a falar dalgúns dos grandes logros do intelecto humano. Non creo esaxerar cando falo de logros do intelecto humano, pois as implicacións que estes coñecementos tiveron e teñen, van moito máis aló do que entendemos como ciencia pura.

Non é obxectivo deste artigo falar especificamente destes tópicos da Física ou de estenderme en consideracións sobre os merecementos desta ciencia para que se lle dedique en especial o quinto ano do vixente século. Tampouco se trata de facer un percorrido polas moitas iniciativas que se están a desenvolver e que van a tomar especial protagonismo no 2005 en relación con este evento. Un paseo pola rede ponnos axiña en situación.

A miña intención é moito máis concreta, pois pretendo presentar o máis brevemente posible o traballo de Einstein no que se coñece como o "Annus Mirabilis" de 1905. O obxectivo é achegar a calquera lector ou lectora a ese traballo, polo que escapo de desenvolvementos matemáticos. Son consciente que se perde en precisión e en beleza, pero espero se gañe en simplicidade.

En efecto, nese ano cando Einstein contaba con 25 anos e era un "escuro" perito técnico de terceira clase na Oficina de Patentes de Berna, alleo ó mundo académico, con dous anos de matrimonio con Mileva Maric e un fillo -Hans Albert- de a penas un ano, vai publicar cinco traballos que suporán o inicio duns cambios moi profundos na forma de entender a natureza e a nosa propia existencia.

- 17 de Marzo, presenta en *Annalen der Physik* unha comunicación sobre a hipótese do "quantum" de luz: "Sobre un punto de vista heurístico referente á xeración e conversión da luz" (*Annalen der Physik*, nº 17, 132 - 1905).

Se trata da primeira vez que Einstein escribe sobre "os cuantos". O uso da palabra "heurístico" non é gratuïto e expresa que Einstein vía a hipótese cuántica como algo provisorio. Este xeito de mirar ó mundo cuántico non sería abandonado por el no resto da súa vida.

Planck presentou a finais de 1900 a súa famosa fórmula que viña a expresar que a materia interaccionaba coa radiación de forma discreta: soamente certas cantidades de enerxía (que chamou "quantum") son permitidas nesa interacción. Obtivo unha expresión matemática que resolvía problemas moi serios que a Física presentaba a finais do S.XIX en relación ó estudio da interacción entre radiación electromagnética e materia, e para iso tivo que "interpretar habilmente" certos conceptos físicos imperantes nese momento. Desde o punto de vista da Física de 1900 o razoamento estatístico de Planck era incorrecto pero a súa fórmula "funcionaba". Tratou en vano de derivala de xeito "ortodoxo" utilizando os seus coñecementos de electricidade, termodinámica e mecánica estatística, pero fracasou.

Foi nas súas propias palabras "un acto desesperado pois había que obter a toda costa un resultado que coincidise cos datos experimentais". Pero esa falta de ortodoxa fundamentación física foi a razón de que o seu traballo non fora recibido



Einstein en 1905



Planck e Einstein en 1929

con grande entusiasmo. De feito desde finais de 1900 ata 1905 o concepto do "cuanto" permaneceu no esquezido. En calquera caso, e a pesar da innegable "destreza" de Planck, non se pode dicir que desde o punto de vista da Física a súa hipótese fose verdadeiramente revolucionaria. Pero en marzo de 1905, Einstein retoma a cuestión e xa desde o principio enfoca o problema dun xeito radical. Segundo el, había un conflito fundamental debido a que por unha parte a materia era entendida como entidades discretas (partículas) mentres que a radiación era entendida como algo uniforme e continuo (o campo electromagnético). Polo tanto o enfrontamento matemático era

inevitable, e a solución requiría unha nova forma de abordar o problema. A partir do estudo termodinámico da radiación (monocromática de baixa densidade para facilitar o cálculo) nun determinado volume, chega a conclusión de que o seu comportamento pode ser descrito matematicamente da mesma maneira que se estivese estudando o comportamento termodinámico de moléculas de gas pechadas nese mesmo volume. Así que a radiación pode ser entendida como se tratase de (moléculas) partículas independentes de enerxía concreta (cuantos de enerxía), ou, falando en termos actuais, podémola considerar como fotóns (en realidade Einstein chamoulles lichquanten, e o nome de fotón foi introducido por G.N. en 1926). A continuación, Einstein xeneraliza a súa proposta a tódalas ondas electromagnéticas, dando así lugar á verdadeira revolución cuántica.

A diferenza, pois, entre Planck e Einstein nesta cuestión é notable. O primeiro ven dicir que hai un "comportamento especial" na interacción radiación-materia que se produce en forma cuantizada. Se se quere, podemos pensar na idea de Planck máis ou menos do seguinte xeito: as cousas suceden desa maneira entre radiación electromagnética e materia porque as ecuacións así se verifican. Einstein, sen embargo, directamente propón que nesa interacción a radiación consiste en partículas (fotóns) cunha determinada enerxía (cuanto), e de aquela a interacción ocorre da única forma posible.

O revolucionario desta proposta queda patente se temos en conta que aínda oito anos despois o propio Planck segue considerando que Einstein se tiña excedido nesa maneira de interpretar a cuestión.

Sen embargo, a explicación a diferentes feitos experimentais a través da natureza corpuscular da luz non deixaba lugar a dúbidas sobre a bondade da idea de Einstein. A explicación dun deses feitos -o efecto fotoeléctrico- foi recoñecido especificamente na concesión do Premio Nobel a Einstein en 1921.

Así que, cando Einstein enviou a *Annalen der Physik* este traballo que o levaría ó Premio Nobel, tiña recén cumpridos os vinteseis anos, tiña un traballo

administrativo en Berna, non tiña contacto algún cos círculos académicos, e aínda non presentara a súa tese de doutoramento.

Volvendo ó tema, a vella polémica que desde douscentos anos atrás estaba suscitada en relación a natureza da luz (se onda ou partícula), da un xiro inesperado pois queda establecido que a luz pode presentar ámbolos dous comportamentos. Esta nova visión daría lugar a famosa tese de Louis de Broglie que ampliaría esa dualidade á materia e que constituiría un dos piares fundamentais da Mecánica Cuántica, que vai nacer uns vinte anos despois do artigo de Einstein.

Como é sabido, Einstein mantivo algo máis que reservas en relación á nova teoría cuántica e sobre todo respecto a súa dimensión probabilista ("Deus non xoga ós dados").

Á vista do exposto paréceme incorrecto que se continúe a falar en moitos libros da "Teoría Cuántica de Planck" cando sería moito máis correcto falar da "Teoría Cuántica de Planck-Einstein" ou simplemente da "Teoría Cuántica Antiga".

.- 30 de Abril: finaliza a súa tese de doutoramento : "Sobre unha nova determinación das dimensións moleculares". Foi impresa en Berna, sometida á Universidade de Zürich e dedicada ó seu amigo, o matemático suízo Marcel Grossmann.

Durante o S.XIX houbo un debate aberto entre os químicos por unha parte e os físicos por outra en relación coa realidade dos átomos. No primeiro caso o debate centrábase sobre se considerar ós átomos e ás moléculas como reais o simplemente como artificios que facilitaban a comprensión do comportamento químico. No segundo caso, os físicos establecían a discusión arredor da termodinámica e en especial en relación coa teoría cinética dos gases. Pénsese que mesmo se falaba de "moléculas químicas" e de "moléculas físicas". Pero en calquera caso, e tanto por separado como por xunto, aínda quedaban químicos e físicos cunha actitude de desconfianza cara á teoría atómica. Os caso máis evidentes nesa posición foron o químico Wilhelm Ostwald e o físico Ernst Mach.

Os traballos de Thomson co descubrimento do electrón e do matrimonio Curie coa radioactividade acabaron coa "indivisibilidade" do átomo, pero foi Einstein quen acabou coa súa "invisibilidade".

Na súa tese obtén as expresións matemáticas que explican o comportamento dunha disolución de azucre en auga. A partir do coñecemento dos valores das velocidades de difusión e das viscosidades desas disolucións pudo calcular os tamaños das moléculas e algo mesmo máis importante: o número de Avogadro. O razón desta importancia radica en que o valor obtido a partir das súas ecuacións está en boa coincidencia cos calculados por outros métodos (Maxwell, Loschmidt,

Planck e o propio Einstein a partir da radiación do corpo negro no seu traballo de marzo) que nada tiñan que ver co procedemento descrito na súa tese. Isto era indicio moi fiable do acertado do razoamento seguido por Einstein e confería ás moléculas (e por ende ós átomos) unha "existencia inequívoca".

O traballo seguinte, que é unha continuación deste, e referido ao movemento browniano, é, en xeral, máis recoñecido que a súa tese. Curiosamente, sen embargo, ademais das notables implicacións teóricas que a tese tivo, trátase da contribución de Einstein que máis ten sido utilizada en aplicacións prácticas. Campos tan diversos como a construción (mesturas de areas e cementos), industria leiteira (comportamento da caseína no leite) ou nas ciencias medioambientais (movemento de aerosois en nubes) son exemplos de aplicación das ecuacións de difusión de Einstein aparecidas nese traballo.

Un último comentario sobre a súa tese. Cóntase que o encargado de avaliála na Universidade de Zürich, Alfred Kleiner, a rexeitou por ser demasiado curta. Einstein engadiu unha frase máis e foi aceptada. Non obstante non hai datos concluíntes sobre este particular e quizais todo quede na lenda que acompaña á vida de Einstein.

.- 11 de Maio. "Sobre o movemento requirido, pola teoría cinética da calor, das partículas suspendidas en fluídos en repouso"

(Annalen der Physik, nº 17, 549 - 1905).

É o seu primeiro traballo sobre o "movemento browniano". Lémbrese que estamos a falar do fenómeno relatado por primeira vez polo botánico escocés Robert Brown en 1828 cando a través do microscopio observou como os grans de polen se movían incesante e erráticamente nunha disolución acuosa. Era un movemento misterioso que non parecía responder ás leis da física. Xa na segunda metade do S.XIX comezou a imperar o punto de vista de que este fenómeno tiña que ser causado por movementos internos do fluído e en particular polas colisións das partículas en suspensión coas moléculas do líquido. Diversos físicos se ocuparon deste problema (como o francés M.Gouy, o polaco M.Smoluchowsky e mesmo H. Poincaré), pero Einstein pouco coñecía sobre o estado da cuestión e por iso no título do traballo non aparece referencia explícita ó movemento browniano, se ben fai dentro do traballo un comentario sobre a posibilidade de que o que el estudia nel coincida con ese fenómeno.

En realidade, este traballo é en parte unha consecuencia da súa tese doutoral, xa que fai unha especie de extrapolación do seu estudio sobre disolucións cara as suspensións.

Einstein supón que o movemento errático dunha partícula no seo dun fluído débese ás colisións das moléculas del sobre dita partícula. Agora ben, o problema

aparece se consideramos que a distribución de posicións e velocidades das moléculas dos líquidos é uniforme. Neste caso as colisións se compensarían entre si e non habería tal movemento. O que fixo Einstein foi considerar a existencia de fluctuacións microscópicas nesa distribución de xeito que nun intervalo moi pequeno de tempo as colisións non son uniformes. O resultado é o movemento en zigzag das partículas en suspensións. Calcula entón a traxectoria promedio das partículas en base a existencia das fluctuacións estatísticas, chegando a unha expresión matemática mediante a que se pode calcular o tamaño das moléculas e tamén o Número de Avogadro. Outra vez volve a facerse "visible" a natureza atómico-molecular da materia.

Non sería esta a derradeira vez que Einstein proporciona un método para calcular  $N$ . En efecto, ós tres xa descritos hai que engadir dous máis en Decembro de 1905, e aínda outros dous en 1908 e 1910. Con tal cantidade de métodos, e procedentes de tan diversos fenómenos físicos, a concepción atómica da materia acabou por ser aceptada por toda a comunidade científica (non obstante Mach faleceu en 1916 sen estar convencido).

Pero ademais da innegable aportación de Einstein ó triunfo da hipótese atómica, neste traballo funda a Termodinámica dos procesos irreversibles que vai ter moita importancia na Física posterior.

.- 30 de Xuño. "Sobre a electrodinámica dos corpos en movemento"

(Annalen der Physik, nº 17, 891 - 1905).

Este traballo é a súa primeira aportación ó que coñecemos como Teoría da Relatividade. Nel, así como no seguinte de 27 de Setembro, trata da representación das leis físicas en sistemas inerciais, é dicir, sistemas que se moven uns respecto ós outros con

velocidade constante. Esta limitación é a que fai que se coñeza esta parte como Relatividade Especial ou Restringida. En calquera caso, nese artigo preséntase unha nova forma de contemplar o espazo e o tempo que fai del unha das contribucións máis transcendentales da historia da ciencia e por ende da historia da humanidade.

É a este traballo ó que lle dedicarei máis extensión por ser para a maioría da xente o que máis coñecido de Einstein.

Newton tivo que falar de repouso e movemento nas súas leis. Pero ¿repouso e movemento respecto a que?. Falaba dun espazo absoluto, ilimitado e inmóbil, e

### 3. Zur Elektrodynamik bewegter Körper; von A. Einstein.

Daß die Elektrodynamik Maxwells — wie dieselbe gegenwärtig aufgefaßt zu werden pflegt — in ihrer Anwendung auf bewegte Körper zu Asymmetrien führt, welche den Phänomenen nicht anzuhafte scheinen, ist bekannt. Man denke z. B. an

tamén dun tempo absoluto que fluía uniformemente. Naturalmente, ambos criterios son bastante inconsistentes, pois como aceptar un espazo absoluto sen marcas ou referencias e un tempo absoluto que é uniforme per se (para Newton o control dese espazo e tempo absolutos era de orixe divina). A pesares "destes problemas filosóficos", que levaron entre outros a Leibniz, Mach ou Poincaré a amosar a súa insatisfacción, a Física continuou o seu camiño de éxitos. Ademais, para as leis da mecánica non facía falta facer uso desas concepcións absolutas newtonianas. Para os sistemas inerciais (aqueles que se moven uns respecto ós outros a velocidade constante) existen unhas ecuacións para pasar das coordenadas dun  $(x,y,z)$  ás doutro  $(x',y',z')$  de forma que as leis da mecánica (as da cinemática ou as da dinámica, por exemplo) non cambian. Ese conxunto de ecuacións coñécese como Transformacións de Galileo e nelas por suposto o tempo é o mesmo ( $t = t'$ ) para tódolos observadores (hai que dicir que foi o P. Frank que introduciu o nome de Transformacións de Galileo). Podemos tamén expresar esta situación dicindo que non é posible a partir de experimentos de mecánica saber se nun sistema inercial nos movemos ou non respecto a outro sistema inercial. Por tanto, e isto é moi importante, a mecánica newtoniana tamén é relativista, pois os valores atopados para a posición, a velocidade, etc, dependen do observador.

Sen embargo, os fenómenos do electromagnetismo (como o movemento das ondas electromagnéticas en xeral, e ás da luz en particular) non respondían a ese esquema. As leis do electromagnetismo -as ecuacións de Maxwell- "funcionaban" no marco dun sistema de referencia único que podería ser o espazo absoluto do que falaba Newton e que estaba cheo dunha substancia chamada éter. Esa substancia era necesaria para permitir ás ondas electromagnéticas viaxar da mesma forma que o aire permite que o son se propague. O coñecido valor da velocidade da luz no baleiro é precisamente un valor respecto a ese espazo absoluto.

A natureza dese éter era bastante contradictorio pois debía ser á vez moi tenue pois non se deixaba detectar, pero moi rixido para permitir a propagacións de ondas transversais como son as electromagnéticas.

Supoñendo un éter en repouso, algúns científicos pensaron que se a Terra se desprazaba a certa velocidade respecto a el, medidas da velocidade da luz, a favor e en contra do movemento da Terra dentro do éter, deberían dar resultados distintos. É dicir no movemento da Terra polo espazo absoluto debería detectarse a existencia dun "vento de éter".

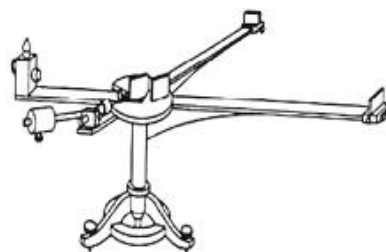
Un dos experimentos máis enxeñosos para detectar esa diferenza foi deseñado por o físico estadounidense Albert Michelson. Trátase dunha experiencia de interferometría coa luz, que non é preciso expoñer aquí (pódese atopar mesmo en libros de bacharelato e non é moi complicada), e que debería poñer de manifesto a velocidade coa que o noso planeta se move respecto ó éter. A pesares de repetir o experimento durante moitos anos, con distintos protocolos e melloras, non foi

quen de detectar ese movemente e polo tanto o éter. Téñase presente que Michelson recibiu o Premio Nobel de Física (o primeiro americano en recibilo) polos seus méritos no campo da instrumentación óptica, polo que sen dúbida era o máis apropiado para "buscar o éter".

Hendrick Lorentz, un dos grandes físicos do finais do S.XIX e principios do S.XX, para explicar á falla dos resultados buscados neste experimento tivo que supoñer que cando un obxecto (sexa o interferómetro ou a propia Terra) se move respecto ó éter sofre unha redución no seu tamaño na dirección do movemento (unha especie de "presión do éter"). Tamén o físico irlandés G.F.Fitzgerald propuxo a mesma explicación e hoxe coñecemos esa hipótese como a "contracción de Lorentz-Fitzgerald". Hai de inmediato que dicir que a contracción necesaria para que os datos cadrasen era insignificante e polo tanto se escapaba de calquera posibilidade de medida experimental e por suposto de ser observada directamente. Tendo en conta isto, Lorentz realizou posteriormente un enorme traballo matemático para chegar á unhas ecuacións -as transformacións de Lorentz- que permiten á descrición dos fenómenos electromagnéticos desde calquera sistema inercial. As transformacións de Lorentz deixan a forma das ecuacións de Maxwell sen alteración -invariante- como as transformacións de Galileo deixan sen modificación a forma das ecuacións newtonianas. Deste xeito, Lorentz asegura, nos sistemas inerciais, a conservación das leis do electromagnetismo, de igual forma que as transformacións de Galileo conservan as leis da mecánica. Sen embargo, se da una diferenza significativa entre ambas. Isto é, a distancia entre dous puntos e a duración dun suceso dado non teñen os mesmos valores en dous sistemas con movemento relativo dun respecto ó outro. O carácter absoluto de distancias e duracións temporais, formulado polas transformacións de Galileo, está negado nas transformacións de Lorentz. Pero Lorentz non elimina o tempo e o espazo absolutos, senón que ven a dicir que esas lonxitudes e duracións (que el chama "locais") medidas por un observador en movemento respecto ó éter están "distorsionadas" por mor dese movemento.

Trátase, pois dun especie de artificialidade parecida á que usou Planck por aquel tempo para que os resultados experimentais na interacción radiación- materia puidesen ser interpretados.

De igual forma que a hipótese de Planck, as ideas de Lorentz tampouco foron acollidas con gran entusiasmo. Pénsese no insatisfactorio que resulta propoñer que existe un sistema de referencia privilexiado (o espazo absoluto) que está cheo dunha substancia (o éter) o cal impide precisamente que poda experimentalmente ser detectado ese espazo absoluto.



Primer Interferómetro de Michelson

O tratamento que da Einstein a esta situación no traballo de xuño volve a ter a audacia dos tres traballos anteriores. Por unha parte, que en tódolos experimentos a velocidade da luz sexa independente do movemento relativo do emisor e receptor, o entende como un postulado xeral da Natureza: "En calquera sistema inercial a velocidade é sempre a mesma, tanto se foi emitida por un corpo en repouso o por un con movemento uniforme". E por outra parte, a imposibilidade de detectar un sistema de referencia privilexiado lévalle a enunciarse un segundo postulado: "As leis da Física toman a mesma forma en tódolos sistemas inerciais".

Hai no primeiro postulado algo que non debe pasar desapercibido, e é que contradí á mecánica newtoniana xa que nela a velocidade da luz non podería ser a mesma medida por observadores situados en sistemas inerciais diferentes. O segundo postulado ten unha gran carga de estética, de harmonía e de sinxeleza o que estaba na visión que Einstein tiña da Natureza.

A partir destas dúas consideracións constrúese unha nova cinemática na que as ecuacións de Lorentz aparecen de xeito natural e onde a contracción de lonxitudes e a dilatación dos intervalos de tempos son o resultado normal das medicións efectuadas desde sistemas de referencias que se moven respecto a outro no que está sucedendo o fenómeno que se está a estudar. É dicir, os corpos non sofren contraccións reais como supoñía Lorentz e Fitzgerald, senón que as medidas son as que son distintas segundo en que sistema se atope o observador que mide.

Compre dicir agora que as ecuacións deducidas por Einstein, que conforman unha nova cinemática, seguen a chamarse Transformacións de Lorentz, aínda que como se acaba de comentar foron deducidas por ambos físicos desde argumentacións moi diferentes.

Por se aclara algo máis valla como exemplo o seguinte: se desde o andén dunha estación medimos por algún procedemento a lonxitude horizontal dun obxecto que está nun tren que pasa diante de nós teríamos un resultado menor para esa lonxitude que o obtido por un observador que vai dentro do tren. O mesmo poderíamos dicir da lonxitude dese obxecto no andén se o mide un observador que vai no tren. A duración de sucesos que ocorren dentro do tren serán medidos como máis longos por un observador no andén respecto o valor obtido por un observador no propio tren.

Obsérvese que dado que o observador que está no andén mide contraccións de lonxitudes e dilatacións temporais en obxectos e sucesos do tren, e que o observador no tren lle pasa o mesmo respecto a obxectos e sucesos no andén, é imposible que desas medidas algún poda saber quen se move e quen está en repouso. Soamente poden dicir que un se move respecto ó outro.

Inmediatamente xurde a pregunta de por que non "percibimos" esas contraccións espaciais e esas dilatacións temporais habitualmente. A razón está en que cando as velocidades relativas dun sistema de referencia respecto ó outro está moi por debaixo da velocidade da luz (o que ocorre a nivel das nosas experiencias) as transformacións de Lorentz convértense nas de Galileo onde tales efectos non aparecen.

Pode que alguén estea tentado a crer que dado que non é factible nin sequera cen anos despois achegarnos nin de preto ás velocidades tan altas, a cinemática einsteiniana é case que un divertimento teórico. Moitos, moitos experimentos teñen sido realizado para poñer de manifesto a "realidade" da física relativista. Baste como exemplo, que os aceleradores de partículas, que son as instalacións científicas máis grandes dos mundo e onde as partículas (protóns, electróns, ións, etc) viaxan a velocidades próximas á da luz, a física relativista é a base á hora do deseño e funcionamento duns dispositivos que custan decenas de millóns de euros.

Por outra parte existen na natureza sucesos e obxectos como os raios cósmicos, que "bombardean" constantemente á nosa atmosfera, que teñen que ser estudados tamén desde a física relativista. Ademais, veremos axiña como outro dos achados fundamentais da Relatividade einsteiniana non deixa lugar á dúbidas sobre que non se trata dun divertimento teórico.

Hai tamén que subliñar outra cuestión de suma importancia. Das expresión deducidas por Einstein nese traballo para diferentes magnitudes físicas desde o seu novo enfoque, chégase a que segundo un sistema se achega á velocidade da luz, os tamaños de obxectos que estean nese sistema se reducen cada vez máis, os sucesos ocorren cada vez máis lentamente, o traballo á realizar para acadar esa velocidade faise infinito... Noutras palabras, a velocidade da luz no baleiro é un máximo que ten imposta a natureza e non é posible superala.

Así que Einstein postula que non hai sistemas de referencia privilexiados, a velocidade da luz é a mesma en tódolos sistemas inercias, e non é posible superar esa velocidade. Como se pode ver son tres postulados absolutos, e por tanto desmenten esa crenza popular de que Einstein veu a dicir que "todo é relativo".

Como remate do comentario deste traballo de xuño, hai que dicir que para os físicos de hai cen anos, o verdadeiramente revolucionario foi ter que abandonar a idea de éter. Co novo enfoque de Einstein a súa presenza é absolutamente innecesaria, e se algo non se precisa e non se pode detectar o máis probable e quen non exista. En efecto, hai moito tempo que foi abandonada a idea do éter aínda que compre dicir que o baleiro tampouco é o que parece, pois a mecánica cuántica confírelle unhas propiedades e comportamento que está moi lonxe da "nada" que quedou despois de desaparecer o éter. Pero esa é outra historia.

.- 27 de Setembro. "¿Depende a inercia dos corpos do seu contido en enerxía?"  
(Annalen der Physik, nº 17, 639 - 1905).

Tres meses despois do traballo anterior enviou este que soamente ocupa tres páxinas. Utilizando as ecuacións do artigo de xuño demostra que cando un corpo libera unha enerxía  $E$  a súa masa diminúe en  $E/c^2$ , e se a recibe gañará en masa ese valor (compre dicir que Einstein utilizou inicialmente a letra  $L$  en lugar de  $E$ ).

Este resultado é de enorme importancia porque ven a expresar que a masa e a enerxía dun corpo aparecen como cousas equivalentes. Tal equivalencia se concreta na súa máis famosa fórmula  $E=mc^2$ , que apareceu en traballos posteriores de 1907.

Olo que aquí non se debe confundir masa con materia ou ver a enerxía en termos das películas de ciencia ficción. Estamos a falar desas dúas magnitudes no seu estricto sentido físico.

Entón, por exemplo, cando nun proceso químico se desprende enerxía iso quere dicir que a masa dos produtos é menor que a dos reactivos. A "falta de masa", que non de materia, aparece como enerxía desprendida. Pola contra, se un proceso químico require de aporte de enerxía para que ocorra, os produtos acabarán por ter máis masa, e non máis materia, que os reactivos.

Non obstante, dado que o termo " $c^2$ " é tan grande (noventa mil billóns de unidades de enerxía no Sistema Internacional), esa desaparición ou aparición de masa é na práctica inmedible e por iso podemos seguir usando sen medo a "lei da conservación da masa" nos procesos químicos.

Outro exemplo é se consideramos unha persoa de 75 kg que ten febre ( $39^\circ\text{C}$ ). O seu incremento enerxético será equivalente en masa a dous nanogramos. Ou se baixa en dous graos a súa temperatura corporal perderá dous nanogramos de masa. Polo tanto, se alguén está pensando en perder peso que se esqueza en calquera caso de meterse no conxelador para diminuír o seu contido enerxético.

Como se comentou anteriormente, dado que se trata de cantidades na práctica inmedibles, un estaría tentado a volver crer en que estamos outra vez diante dunha argumentación retórica. Pois non, a enerxía a nivel dos procesos nucleares pon de manifesto que a ecuación de Einstein reflexa con absoluta fidelidade a relación entre masa e enerxía. Isto aparece nos procesos radioactivos, nos aceleradores de partículas, dentro das estrelas, nos reactores nucleares e desgraciadamente no armamento nuclear. Precisamente, Einstein estivo involucrado no inicio da investigación nese campo en EEUU durante a Segunda Guerra Mundial, aínda que moita xente ten equivocado a súa crenza respecto a esa participación. Pero non é neste documento onde se debe tratar esa cuestión.

Como pode entender que esto lea este traballo onde enerxía e masa aparecen como dúas magnitudes equivalentes tivo unha transcendencia enorme e está ó nivel de revolucionario dos outros traballos do ano 1905.

Finalmente hai que sinalar que aínda houbo un sexto traballo en Decembro que estende e mellora os cálculos da súa teoría do movemento browniano de Maio.

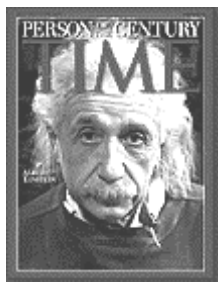
Estamos chegando ó final desta exposición e espero que se comprenda porque o ano de 1905 se considera como milagroso. A grandeza científica de Einstein é indubidable. Pénsese que aínda que non tivese escrito máis que os tres primeiros traballos (sobre a natureza cuántica da radiación e sobre o comportamento molecular das disolucións e suspensións) sería suficiente para consideralo un dos máis grandes físicos. Pero se soamente tivese escrito os dous traballos sobre Relatividade Especial, tamén sería tería sido suficiente.

Pero é que ademais, nos anos seguintes fixo fantásticas achegas á Teoría Cuántica (os calores específicos dos sólidos, a primeira referencia a dualidade onda-partícula, a emisión estimulada da radiación- o láser- ,etc), a Física Estatística (comportamento dun resoador nun campo de radiación, a opalescencia crítica, a estatística Bose-Einstein -que é a que explican o comportamento dos bosóns- ... ) a Termodinámica (transformación relativista de magnitudes termodinámicas, termodinámica de proceso fotoquímicos, conductividade térmica dos gases ...).

E por se fose pouco, no ano 1916 publica o que se considera un dos logros intelectuais máis grandes da humanidade: a Teoría Xeral da Relatividade, que constitúe a base da teoría cosmolóxica actual onde ten cabida o big bang, os buratos negros, os quasars, os pulsars, etc.

Os últimos vinte anos da súa vida dedicounos á busca dunha teoría unificada das forzas, pero fracasou. Non se lle pode reprochar en calquera caso pois aínda hoxe non se ten logrado. Precisamente a súa teoría da gravitación é a que máis problemas ven causando en relación coa a súa compatibilidade coa Física Cuántica

Son moitas as cousas que se poden dicir de Einstein como científico, pero obviamente quixen centrarme no ano 1905. Non obstante, hai algo que debe ser engadido, xa que en relación a algúns dos traballos dese ano tense comentado nos últimos anos que a súa primeira muller, Mileva Maric, foi a inspiradora ou mesmo coautora. É certo que Einstein tivo aquel ano que comentar con ela a marcha do seu traballo. Era a súa muller e levaban casados a penas dous anos, e sobre todo Mileva fixo os mesmos estudos que el na ETH de Zürich. Pero a física que está detrás dos traballos de 1905 non é especialmente difícil para un estudante actual de terceiro ano, logo Mileva non tería problema para repasar e



mesmo criticar algunha das cuestión deses traballos. O que é realmente significativo é o revolucionario das propostas realizadas, e iso é unha constante en todo o traballo científico de Einstein. Pénsese ademais, que ela practicamente se ocupaba en solitario da casa e que tiñan un neno, Hans Albert, de a penas un ano. Polo tanto non parece axeitado colocar a Mileva Maric como coautora dalgún deses traballos, e non acertado situala cando outras mulleres que teñen sido maltratadas pola historia da ciencia. Si é certo que ela tamén profesaba unha gran paixón pola Física e sen dúbida debeu ser moi desgraciada polo papel que tivo que desempeñar ó lado de Einstein. Ademais, hai que dicir que Einstein non foi nin un marido nin un pai exemplares e o matrimonio fracasou ós poucos anos. Téñase en conta que a imaxe que temos del nos derradeiros anos da súa vida en EEUU, como un vello científico despistado, divertido e ás veces ausente non se corresponde co home que viviu ata os cincuenta anos de idade en Europa.

Finalizo destacando outra vez a súa condición de científico -que é aquí a que interesa- na que brillou sen dúbida como poucos. A súa influencia foi tan determinante, tanto na Ciencia como fora dela, que a revista Times elixiuno a finais do ano 2000 como o persoeiro máis importante do Século XX.

## BIBLIOGRAFÍA.

Cítanse a continuación libros de divulgación sobre a vida e a obra de Einstein e algún manual de especial consideración para que en isto escribe, pero son moitísimos os libros de texto, manuais e libros de divulgación os que se poden atopar sobre estes temas. Non se citan artigos aparecidos en revistas, periódicos ou páxinas webs de todo tipo porque son incontables.

BOIDO G. Einstein o la armonía del mundo. Adiax. Bos Aires 1980.

CABRERA B. Principio de relatividad. Alta Fulla. Barcelona 1986.

DAVIS P. En busca de las ondas de gravitación. Barcelona. Salvat 1985

EINSTEIN A. El significado de la relatividad. Planeta Agostini. Barcelona 1984.

EINSTEIN A. La Física aventura del pensamiento. Bos Aires 1984.

EINSTEIN A. Mi visión del mundo. Tusquets Editores. Barcelona 1984.

EINSTEIN A. Notas autobiográficas. Alianza. Madrid 1984.

EINSTEIN A. Sobre la Relatividad especial y general. Alianza. Madrid 1984.

EISBERG R. RESNICK R. Física Cuántica. Limusa. México 1986.

FAROUKI N. La Relatividad. Dominos. Madrid 1993.

FERNADEZ RAÑADA E OUTROS. Física Básica I e II. Alianza Editorial. Madrid, 1997

- FRENCH A.P. Relatividad especial. Reverté. Barcelona 1984.
- GARDNER M. La explosión de la relatividad. Salvat. Barcelona 1986.
- HOFFMANN B. Einstein. Salvat. Barcelona 1984.
- HOFFMANN B. La relatividad y sus orígenes. Editorial Labor. Barcelona 1985.
- HOLTON G. Ensayos sobre el pensamiento científico en la época de Einstein. Alianza Universidad. Madrid 1982.
- KHUN T.S. La teoría del cuerpo negro y la discontinuidad cuántica. Alianza 1980.
- LANDAU L. ¿Qué es la relatividad?. Akal bolsillo. Madrid 1980.
- LEVICH B.G. Teoría Deel campo electromagnético y Teoríad e la Relatividad. Reverté. Barcelona 1974.
- MERLEAU-PONTY J. A.Einstein, vida, obra e filosofía. Alianza Editorial. Madrid 1994.
- PAIS A. El Señor es sutil....Ariel Métodos. Barcelona 1984.
- PAPP D. Einstein, historia de un espíritu. ESPASA-CALPE. Madrid 1981.
- PEARCE L. La teoría de la Relatividad. Alianza. Madrid 1983.
- RUSSELL B. ABC de la Relatividad. Ariel. Barcelona 1984.
- SANCHEZ RON J.M.El origen y el desarrollo de la relatividad. Alianza. Madrid 1983.
- TAYLOR JOHN G. Las nueva Física. Alianza Universidad. Madrid 1984.
- WEINBERG S. Sueños de una teoría final. La búsqueda de las leyes fundamentales de la naturaleza. Crítica (col. Drakontos) Barcelona 1994.

United Nations

A/58/L.62

**General Assembly**

Distr.: Limited  
1 June 2004  
English  
Original: French

**Fifty-eighth session**

Agenda item 169

**International Year of Physics, 2005**

**Brazil, France, Lesotho, Monaco, Portugal, Singapore and United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland: draft resolution**

**International Year of Physics, 2005**

*The General Assembly,*

*Recognizing* that physics provides a significant basis for the development of the understanding of nature,

*Noting* that physics and its applications are the basis of many of today's technological advances,

*Convinced* that education in physics provides men and women with the tools to build the scientific infrastructure essential for development,

*Being aware* that the year 2005 is the centenary of seminal scientific discoveries by Albert Einstein which are the basis of modern physics,

1. *Welcomes* the proclamation of 2005 as the International Year of Physics by the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization;

2. *Invites* the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization to organize activities celebrating 2005 as the International Year of Physics, collaborating with physics societies and groups throughout the world, including in the developing countries;

3. *Declares* the year 2005 the International Year of Physics.

04-37049 (E) 020604

**\*0437049\***