

HEINRICH HERTZ

M. de Abreu Faro

Comunicação apresentada à Classe de Ciências da Academia de Ciências de Lisboa em 20 de Outubro de 1994

Resumo:

Na presente comunicação focam-se dois aspectos fundamentais:

- A Óptica e o Electromagnetismo no tempo de Hertz, antecedentes e pensamento científico da época.
- A obra de Hertz e as suas repercussões, com ênfase na descoberta experimental das ondas electromagnéticas previstas por Maxwell, e na acção pioneira que Hertz teve na investigação da Electrodinâmica dos Corpos em Movimento.

Evidencia-se, assim, a vida e obra de um físico ilustre que além do seu trabalho experimental se revelou também um teórico lógico, consistente e corajoso.

Abstract

On the present communication the focus is on the two following fundamental aspects:

- Optics and Electromagnetism at Hertz time, antecedents and scientific knowledge of the epoch
- The work of Hertz and its repercussion, with emphasis on the experimental confirmation of the existence of the electromagnetic waves predicted by Maxwell, and on Hertz pioneer activity concerning the Electrodynamics of Moving Bodies.

In this way we pay homage to the life and work of an illustrious physicist who in addition to his experimental work, has proved to be a logical, consistent and courageous theorist.

1 - A Óptica e o Electromagnetismo no tempo de Hertz

Heinrich Hertz nasceu em 22 de Fevereiro de 1857 e faleceu em 1 de Janeiro de 1894.

Em 1888 confirmou experimentalmente a existência das ondas electromagnéticas teoricamente previstas por Maxwell em 1864, e é por esse facto que Hertz é quase sempre e quase que unicamente referido.

No entanto, em boa verdade, a obra de Hertz não se pode resumir num enunciado assim, tão simples e único.

O espectro das ondas electromagnéticas é extenso e o que desse espectro Hertz revelou ficou conhecido, designa-se tradicionalmente por ondas Hertzianas e, de facto, é o que mais se salienta na inscrição de Hertz na História da Física e na História dos Homens.

Porquê?

Por duas razões fundamentais:

A confirmação da Teoria de Maxwell.

O aproveitamento de Marconi, das Ondas Hertzianas, na concepção e realização de Sistemas de Radiocomunicações.

Aproveitou Hertz da previsão teórica de Maxwell, aproveitou Marconi da realidade forte que advinhou e conseguiu das ondas electromagnéticas.

Maxwell - Hertz - Marconi, um trio que nos dá flagrante exemplo de que nisto de fazer há que distinguir três estádios, três fases: to do, to act, to perform. Reflectir de Shakespeare que emerge do Diálogo dos Coveiros, no Hamlet.

Isto é o o que trivialmente se diz e atribui a Hertz mas há mais. No passado e no futuro que motivou.

De Faraday, colheu Hertz a ideia de uma propagação com velocidade finita das perturbações electromagnéticas. Faraday tentou conceber uma

experiência que o demonstrasse. Raízes, pois, que mergulham mais fundo, no mesmo terreno onde o próprio Maxwell se criou.

Com os trabalhos teóricos, dos últimos anos da vida breve que foi a sua, iniciou Hertz, post-Maxwell, a análise sistemática da Electrodinâmica dos Corpos em Movimento, em que se distinguiu a avultou Lorentz, mas que apenas se esclareceu completamente com Einstein em 1905, no âmbito da Teoria da Relatividade Restrita.

Eis pois Hertz marginado por Faraday e Einstein, qualquer deles contemplativamente tranquilos, desligados de pragmatismos do imediato e da emulação da competição materialista do interesse. Até ao fim dos seus dias tentaram compreender a ordem das coisas: sem ferir, sem agredir, dando a outros para continuar.

Oferece-nos justo referir assim, pois, deste modo, se define na Física a extensão da vida de Hertz, desde a motivação recebida até à motivação transmitida, isto onde profundamente efectivamente foi e ocorreu.

A vida e obra de Hertz envolve-se na História da Luz, talvez mais concretamente na Óptica dos Meios em Movimento. Isto muito particularmente no que respeita aos seus trabalhos teóricos de 1890.

Na década de 80 defrontou-se com a Teoria do Campo Electromagnético de Maxwell onde, desde 1864, se sugeria que a luz era um fenómeno electromagnético.

Óptica e Electromagnetismo: convém, para melhor compreensão dos factos, traçar a traços largos o quadro construído com essas duas disciplinas e onde Hertz se encontrou e actuou.

Descartes, sendo quem foi, acreditava na propagação instantânea da luz. Isto pelos anos de 1634 e explicitamente escrito.

Galileu, esse, pelo contrário, tentou medir a velocidade de propagação da luz. Apenas concluiu e se ficou na convicção de que essa velocidade era extremamente elevada.

Num espaço de uma milha italiana (1,5 Km) defrontava-se com um intervalo de tempo de ida e volta da ordem de 10 microsegundos, era auxiliado por um seu criado. Faz-se notar que Galileu conseguia uma precisão de 1/10 segundo, era manifestamente insuficiente.

No entanto, Galileu, contribuiu, em certa medida, para o que outro, Römer, havia de conseguir.

Da Holanda, chegavam notícias de lunetas, tubos com lentes, portentosas possibilidades.

Em seis meses, Galileu desenhou e construiu uma luneta : afinal, um telescópio por refração.

Em 7 de Janeiro de 1619, observando Júpiter, descobre a existência de quatro "estrelas" próximas. Por observação continuada concluiu tratar-se de quatro "luas", quatro planetas: Io, Europa, Ganimedes e Calisto.

Note-se, a título de curiosidade, que em 1979 estavam detectados 15 satélites de Júpiter.

Estes quatro, são os que mais se afirmam. São facilmente visíveis, recorrendo a um binóculo 7x50.

Io é o que mais rapidamente se repete, tem um período de revolução de 42 h 28 m 16 s.

Trata-se de um valor médio dos períodos observados ao longo de um período de revolução da Terra.

Recorrendo à teoria do efeito Doppler, facilmente se explica que esse valor se deve observar quando a Terra estiver, respectivamente, em oposição e conjunção relativamente a Jupiter.

Sendo finita a velocidade de propagação da luz, a mesma ocorrência é vista, na oposição e na conjunção, com um atraso correspondente ao trânsito do diâmetro da órbita da Terra.

Römer estimou em 22 minutos esse atraso e, atribuindo ao diâmetro da órbita da Terra cerca de 283 milhões de Kilómetros, obteve uma velocidade de propagação da luz da ordem de 214300 Km/s.

Este resultado é notabilíssimo, embora se afaste do valor hoje bem determinado e com grande aproximação de 299.792, 458 Km/s.

Isto passava-se em 1676 mas há outras versões.

Parece ser um facto que em 1669 Cassini chega a Paris, de Itália, assumindo as funções de director do observatório astronómico.

Também parece ser um facto que Picard, assistente de Cassini, se desloca a Copenhagen onde se encontra com Erasmus Batholinus que recomenda a Picard o seu jovem assistente Olaus Römer.

Assim e pelo que se disse, Römer chega a Paris em 1672 e associa-se a Cassini e Picard na observação e análise das ocorrências dos eclipses dos satélites de Jupiter.

Mais tarde, Römer regressa a Copenhagen onde se torna director do observatório astronómico.

Em 1704 Newton publica a Óptica. Em 1706 Römer fica a saber e anota que Newton, no seu tratado, a Óptica, aceita os atrasos da luz que se revelaram a partir da observação dos eclipses dos satélites de Jupiter. Huygens tomou atitude semelhante. No seu tratado da luz 1690, descreve pormenorizadamente o método de Römer.

Aceitando assim, tudo leva a crer que Huygens e Newton tenham calculado valores da ordem de 230.000 e 240.000 Km/s, respectivamente, com base nos resultados de Römer.

O desconhecimento era tal, sobre esta matéria, que ninguém distinguiria entre estes valores e outros mais próximos da realidade.

Quanto importa é que a partir do trabalho de Römer a velocidade da luz foi aceite por alguns como finita.

Hooke estava e manteve-se reticente.

Para que o resultado fosse tomado como plausível houve que aguardar um novo resultado obtido por um outro processo.

Isso ficou-se devendo a Bradley em 1727.

Bradley descobriu o fenómeno da aberração das estrelas que se deve e só à velocidade da Terra na sua órbita, cerca de 30Km/s.

O ângulo de aberração é dado aproximadamente por $\alpha = v/c$ e é independente da estrela que se trate.

Bradley mediu um ângulo α de aberração da ordem de 20".

Entrando com uma velocidade v da ordem de 30 Km/s, obtem-se para a velocidade da luz um valor próximo de 300.000 Km/s.

Assim terminou a controvérsia sobre a velocidade da luz.

Quando referimos o efeito Doppler, desconhecido que era de Römer, apenas pretendemos com isso abonar os resultados obtidos.

De facto, estando a Terra em conjunção ou oposição relativamente a Júpiter, podemos desprezar o efeito Doppler que tem carácter transversal e é de 2ª ordem em v/c . Nessas condições, o atraso no eclipse de Io coincide muito aproximadamente com o tempo de trânsito da órbita terrestre por um sinal luminoso.

Recorrendo ao efeito Doppler, em posições intermédias, podemos tomar um efeito Doppler puramente longitudinal e o período observado será, então, $T = T_0 \left(1 \pm \frac{v}{c}\right)$.

Por outro lado, o desvio máximo é $(T - T_0) = 15 \text{ seg.}$

Tomando para a velocidade da Terra $v = 30 \text{ Km/s}$, obtem-se $c = 305.800 \text{ Km/s}$.

É curioso que a aceitação dos resultados de Römer estava dependente de uma confirmação por parte de outros e por outro processo.

Acontece que o efeito Döppler, que fundamenta o resultado de Römer e a aberração, são fenómenos ligados uma vez que o vector de propagação e a frequência angular constituem o quadri-vector $(k, \omega/c)$.

A consistência estava implícita mas a Teoria da Relatividade apenas apareceria em 1905!

A luz punha, no entanto, outros problemas que, se projectaram significativamente nos trabalhos de Hertz.

Quanto à natureza da luz, Hooke admitia que se tratava de vibrações rápidas que se transmitiam instantaneamente num determinado meio, admitia, ainda, que essas vibrações tinham carácter transversal, 1665.

Hooke foi assim um pioneiro, um precursor de uma teoria ondulatória da luz, elaborada por Huygens desde 1678 e anunciada no seu Tratado da Luz de 1690.

Huygens julgava que a luz se propagava no "aether" como o som no ar. Isto apesar de Huygens ter descoberto a polarização da luz.

Newton na sua Óptica de 1704, e de modo mais preciso em 1717, rejeita um éter que, no enunciado de Huygens, exibiria vibrações longitudinais.

Assim e durante um século imperou a teoria de emissão de Newton ou seja uma teoria corpuscular.

Efectivamente, ferida de morte por Newton, a teoria ondulatória apenas se impôs generalizadamente quando desassombradamente e através de adequado e rigoroso formalismo foi defendida por Fresnel em 1818.

Respeitando a genialidade de Fresnel, bem se pode dizer que a teoria ondulatória renasceu das cinzas pelas mãos de Young que em 1801 enunciou um princípio de interferência ondulatória que permitia explicar o colorido de películas delegadas.

Muito se deve a Young, mas, para não nos desviarmos do caminho traçado apenas convem referir que Young, crente na teoria ondulatória, explicou no âmbito dessa teoria a observação da luz que Bradley em 1728 descobrira e calculara com base nas Leis da Mecânica aplicadas à Teoria Corpuscular.

E mais

Young nestas e noutras investigações conclui haver fortes indícios de que o éter, embora impregnando a substância dos corpos, o faz com pequena ou resistência nula, 1804.

O éter começa assim a configurar-se com um meio fantasmagórico que invade a matéria sem oposição, sem sinal físico desse facto.

Previsões de Arago, relativamente à refacção da luz através de meios refrangentes, conduziram a um resultado nulo.

Experimentalmente, também Arago se preocupou sobre uma eventual distinção no comportamento da luz das estrêlas e daquela que se gera na Terra. Intrigado, não encontrou qualquer diferença.

Amigo de Fresnel, buscou junto deste uma explicação teórica.

Estes os motivos, essenciais, que conduziram Fresnel à sua célebre teoria do arrastamento parcial do éter.

A teoria de Fresnel teve grande êxito pois permitia explicar diversos resultados experimentais.

Nomeadamente, os resultados de uma experiência concebida por Boscovich em 1771, adiada e levada a efeito, 100 anos depois, por Airy em Inglaterra, 1871.

Dessa experiência conclui-se que o ângulo de aberração é independente da interposição de qualquer meio refrangente.

Boscovich sugerira que se adquirissem dois telescópios iguais e um dêles se enchesse com água.

Segundo a Teoria de Fresnel, a velocidade de propagação das ondas é independente das fontes, esta afirmação destroi a teoria da emissão de corpúsculos de Newton. A velocidade apenas depende do meio.

Ainda e já directamente com o problema de arrastamento, Fresnel admite que o "éter interstelar" que impregna um meio refrangente só é parcialmente arrastado por este quando se põe em movimento em relação a essa imanência que seria o éter interstelar.

No meio refrangente em movimento haverá, agora, um éter arrastado parcialmente e que por esse facto exhibe relativamente ao éter interstelar uma velocidade αv em que v é a velocidade relativa do meio refrangente e α o factor de arrastamento de Fresnel

$$\alpha = 1 - \frac{1}{n^2}$$

Em que "n" é o índice de refração do meio refrangente relativamente ao vácuo.

Mas nesse éter arrastado, que é um meio idêntico ao éter interstelar, a luz continua a propagar-se com a velocidade c/n

Relativamente ao éter interstelar e recorrendo a uma lei clássica de adição de velocidades a luz exhibirá uma velocidade

$$c_e = \frac{c}{n} + \left(1 - \frac{1}{n^2}\right) v$$

Note-se que o vácuo, em que $n = 1$, não arrasta o éter interstelar o que significa que fica impregnado com éter em repouso em relação ao éter interstelar.

Mas o ar tem um índice de refração muito próximo da unidade, à superfície da terra e em condições normais, $n_{ar} = 1,0003$.

Sendo assim, a experiência pode fazer-se num laboratório em que a atmosfera é o ar!

Isso foi feito por Fizeau em 1851 e o meio refrangente era água em movimento.

Recorrendo a métodos interferométricos, Fizeau confirma a previsão de Fresnel.

Pelo que se disse, sendo o índice de refração do ar praticamente igual a 1 a velocidade c_e coincide com a velocidade da luz relativamente ao laboratório.

É notável que esta lei de composição de velocidades, que é clássica, mas coopera com o conceito de arrastamento parcial, conduza ao que a Teoria da Relatividade de 1905 prevê, numa aproximação de primeira ordem em v/c .

Em 1868, Hoek, recorrendo a métodos interferométricos e à propagação em meios refrangentes, concebe uma experiência em que se evidenciaria o movimento da Terra relativamente ao éter. O resultado foi um resultado nulo.

Pode demonstrar-se que é condição necessária e suficiente para que isso tenha sucedido que exista um factor de arrastamento parcial do éter que seja igual a $\alpha = 1 - 1/n^2$.

A Teoria de Fresnel, assim confirmada por Fizeau, consistente com outros factos experimentais, nomeadamente, quantos respeitam a resultados nulos, mostra claramente que, recorrendo a meios refrangentes e com experiências de primeira ordem em v/c , não é possível, com meios em repouso, evidenciar um "vento do éter".

Mais, a teoria de arrastamento parcial retira ao éter as qualidades tão desejadas de um sistema útil e seguro de referência.

Até 1880 nunca se foi além de experiências de primeira ordem em v/c , recorrendo a meios refrangentes.

Se recorressemos a experiências de segunda ordem, as possibilidades de evidenciar o éter renasceriam.

Quem, pela primeira vez, concebeu uma experiência, que permitiria detectar o movimento da Terra no éter imóvel do sistema heliocêntrico, foi Maxwell, era uma experiência de segunda ordem em v/c e processava-se no ar. Maxwell propôs uma experiência conceptual em que a diferença dos tempos de percurso de iguais distâncias e de oposta direcção seria revelada por métodos interferométricos.

Exactamente em 1880, Albert Michelson (1852-1931) obteve, da Marinha dos Estados Unidos, permissão para se deslocar à Europa para estudar física teórica e realizar investigação científica no instituto dirigido por Helmholtz.

Aí encontrou um ambiente fervilhante de ideias e meios experimentais únicos no mundo de então.

Inspirado, possivelmente, pela experiência concebida por Maxwell, idealizou e realizou o seu primeiro interferómetro.

O tráfego em Berlim provocava vibrações que incapacitavam o interferómetro, ultrasensível, que Michelson tinha concebido.

Foi Helmholtz, extremamente cuidadoso que era com os seus alunos, que lhe arranhou acomodação adequada no Observatório Astronómico de Potsdam onde, em Abril de 1881, realizou a sua célebre experiência. Foi uma experiência com um resultado nulo. Numa experiência com uma precisão de segunda ordem em v/c o éter continuava a não se revelar.

Em 1887 Michelson, em colaboração com Morley, repetiu a experiência com um interferómetro com dimensões cerca de 10 vezes maiores do que as do interferómetro de Potsdam. Os dois braços do interferómetro mediam, agora, onze metros em vez do metro e vinte da experiência anterior.

Esta realizou-se, em Cleveland e mais uma vez conduziu a um resultado nulo.

No entanto, com a precisão alcançada, ter-se-ia detectado confortavelmente uma diferença dos tempos de percurso de distâncias iguais e ortogonais. Isto na atmosfera de uma Terra deslocando-se a 30 Km/s no éter imóvel de um sistema heliocêntrico, como admitia Maxwell.

Assim se chega a 1887 com a forte convicção de que é impossível conceber uma experiência física que permita revelar o movimento da Terra relativamente a um éter em que se teima em acreditar.

Lado a lado, subsistiu a Teoria do Arrastamento Parcial de Fresnel, confirmada experimentalmente por Fizeau.

Esta a Óptica. Mais do que a Óptica, o éter que a Óptica postulava para a viabilização da propagação da luz.

A Óptica foi primeiro. Mais tardiamente o Electromagnetismo construiu-se e acabou por incluir em si essa mesma Óptica que tanto contribuiu para o estabelecimento de ideias e técnicas experimentais de primordial importância.

Diríamos, ainda, que foi na Teoria Electromagnética da Luz, que consta da sua comunicação de 1864, que Maxwell nos lança na pista dessa incorporação e refere as ondas que Hertz, experimentalmente, criou e detectou.

Nos fins do Sec. XVIII a Electricidade e o Magnetismo eram fenómenos disjuntos e ainda não existiam leis quantitativas que os enquadrassem e regessem.

A Lei de Coulomb foi descoberta em 1785 e publicada em 1787.

Coulomb procedeu directamente, medindo forças atractivas e repulsivas entre esferas metálicas carregadas. Recorreu a uma balança de torsão.

No seu formalismo, a Lei de Coulomb é exactamente análoga à lei de atracção das massas de Newton e é a primeira lei quantitativa da Teoria da Electricidade.

No entanto, outros a teriam sugerido e descoberto antes.

Em 1755, Benjamim Franklin surpreendeu-se com o facto de uma bola de cortiça no interior de um vaso metálico electrizado não ser atraída para a parede interior do mesmo.

Franklin visitou a Inglaterra, conheceu Priestley e deu-lhe notícia desse e de outros conhecimentos.

Priestley lembrou-se então que Newton demonstrara que no interior de uma camada esférica uniforme, numa terra ôca, não existiria qualquer força gravitacional desde que se verificasse a lei do inverso do quadrado da distância.

Isto foi publicado por Priestley em 1767: *The History and Present State of Electricity, with Original Experiments*.

John Robison, dois anos mais tarde, realizou o primeiro teste da lei que viria a designar-se de Coulomb. Só em 1801 publicou. Era tarde. Coulomb já se entcedera nessa iniciativa.

Mas há mais, Cavendish, em 1773, retomando a ideia de Priestley, realiza uma experiência notabilíssima, mais precisa do que os métodos de Coulomb e em que demonstra experimentalmente que uma distribuição esférica de carga eléctrica tem acção nula no seu interior.

Maxwell, no tratado de 1873, refere-se e calcula a extrema precisão desta experiência que ele próprio refinou.

Mas Cavendish não publicava ou publicava pouco e foi Maxwell que, 100 depois, anunciou os resultados de Cavendish.

A primeira lei quantitativa de Electricidade, generalizável ao Magnetismo, embora não se tenham encontrado até hoje monopolos magnéticos, parecia ser um bom augúrio para as leis de acção a distância, pelo menos numa atitude de "tudo se passa como".

A pilha de Volta facultou-nos a existência de correntes estacionárias (1800).

Em 21 de Julho de 1820, Oersted publicou o resultado das suas experiências relativas ao efeito do "conflito eléctrico" sobre a agulha magnetizada, designava-se assim, e então, a "corrente eléctrica". A designação de corrente deve-se a Ampère.

A corrente eléctrica interferia na agulha magnética.

Estava descoberto meio Electromagnetismo.

A outra metade descobriu-a Faraday em 1831 ao anunciar a Lei de Indução.

Mas alguma coisa faltava para que a formulação do Electromagnetismo se completasse.

Esse complemento deve-se a Maxwell.

Em 8 de Dezembro de 1864 apresenta as "Equações Gerais do Campo Electromagnético" no âmbito da comunicação que nessa data fez à Royal Society sob o título "A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field".

A primeira equação que Maxwell escreveu foi a equação (A) "The relation between electric displacement, true conduction, and the total current, compounded of both".

Antes de Maxwell, sabia-se que as faces internas dos pratos metálicos de um condensador eram sede de cargas eléctricas, positivas e negativas, onde nascia e morria o campo eléctrico.

Na concepção de Maxwell, a um campo eléctrico, E , variável no tempo, estava associada esta associada uma densidade de corrente de deslocamento $\frac{\partial D}{\partial t}$ em que $D = \epsilon E$ e ϵ é a constante dieléctrica do meio. A grandeza D designa-se por vector deslocamento eléctrico.

Quando se insere um condensador num circuito, nos condutores circula a corrente de condução que se continua, no espaço entre os pratos do condensador, pela corrente de deslocamento.

Concluindo, a equação A numa escrita de hoje e recorrendo aos actuais símbolos, escreve-se:

$$C = J + \frac{\partial D}{\partial t}$$

Esta união formal das duas correntes é plenamente consequente: uma corrente de deslocamento provoca os mesmos efeitos que uma corrente de condução, nomeadamente, criará um campo magnético, tal como se observou na corrente de condução com Oersted.

A corrente de deslocamento existe no vácuo !!!

Para esta afirmação espectacular, Maxwell imaginou uma teoria mecanicista do vácuo que para ele era o melhor e mais perfeito dos isolantes.

Encontramo-nos assim com aquilo que se designa por "éter celular de Maxwell".

Ampère na sua memória de 1826 apresentou a "Teoria matemática dos fenómenos electrodinâmicos, unicamente deduzida da experiência".

É um trabalho notabilíssimo

Ampère enunciou claramente o seu objectivo no preâmbulo da obra : reduzir as acções electrodinâmicas, e consequentemente o electromagnetismo, a forças entre correntes elementares satisfazendo a uma lei do inverso do quadrado da distância.

Assim se verifica que as teorias newtonianas de acção a distância ainda estavam pujantes e extremamente abrangentes em 1826.

Alguem duvidou que fosse assim, e evidenciou que não era, foi Faraday.

Conceptualmente, nele se radicou o campo electromagnético que progredindo no espaço é o agente que localmente explica os efeitos observados. Faraday rejeitava, não admitia a acção a distância.

De um escrito seu, de 1846, constam reflexões sobre as vibrações do radiamento; a radiação é uma espécie de vibração (transversal) rápida das linhas de força que unem entre si as partículas e por consequência as massas de matéria.

Embora os resultados de Ampère subsistam a interpretação mais profunda que pretendia, essa, não.

Iniciara-se o declínio da acção a distância.

Faraday foi o grande construtor do novo ideário que Maxwell consubstanciou nas "General Equations of the Electromagnetic Field" que constam da "Part III" da sua comunicação de 1864 e são hoje universalmente

conhecidas por Equações de Maxwell. Contemplando a fenomenologia e leis observadas e estabelecidas por Oersted, Ampère e Faraday, Maxwell introduz, por sua iniciativa, a corrente de deslocamento que para todos os efeitos se adiciona à corrente de condução.

A sua teoria suportou-se em vinte grandezas físicas.

"Entre estas vinte quantidades nós encontramos vinte equações"

.....

"Estas equações são, por conseguinte, suficientes para determinar todas as quantidades que nelas ocorrem, contanto nós conheçamos as condições do problema".

São palavras de Maxwell, em tradução livre, nossa.

Na "Part VI - "Electromagnetic Theory of Light" surgem as ondas electromagnéticas.

No preâmbulo da sua comunicação refere-se a este capítulo importante, em última análise, essencial, da sua comunicação, salientando que as únicas perturbações que se podem propagar num meio, não condutor, são perturbações transversais à direcção de propagação.

A velocidade de propagação foi obtida teóricamente a partir de dados experimentais como aqueles que, numa experiência concebida por Weber, exprimem o número de unidades electrostáticas de carga eléctrica que se contêm numa unidade electromagnética.

A velocidade determinada é tão próxima da velocidade da luz que parece haver fortes razões para se admitir que a luz é ela própria uma perturbação electromagnética que sob a forma de "ondas" se propaga através do campo electromagnético e segundo as leis electromagnéticas.

A concepção da propagação de perturbações magnéticas transversas excluindo as longitudinais foi claramente expressa pelo "Professor Faraday" no seu trabalho de 1846 "Thoughts on Ray Vibrations".

A teoria electromagnética da luz proposta por Faraday é a mesma que Maxwell desenvolve nesta sua comunicação de 1864, simplesmente em 1846 Faraday não tinha dados para calcular essa velocidade de propagação.

Em boa verdade, não dispunha de uma equação de ondas que essa apenas ocorre quando se considera a corrente de deslocamento, pedra angular que fecha esse edifício belo, elegante e eficaz, que é o conjunto das Equações de Maxwell.

Na parte VI da sua comunicação resolve a equação de ondas e conclui que a velocidade de propagação V dessas ondas coincide com a relação v entre as unidades de carga electrostática e electromagnética determinada pelas experiências electromagnéticas de Weber e Kohlrausch

$$V = v = 310.740.000 \text{ metros por segundo}$$

Estes resultados constam das Leipzig Transactions, Vol. V (1857) e dos Poggendorff's Annalen, Agosto, 1856.

Maxwell refere os resultados obtidos por Fizeau e Foucault para a velocidade da luz.

$$V = 298.000.000 \text{ m s}^{-1} \quad \text{Fizeau, Comptes Rendus, 1849}$$

$$V = 308.000.000 \text{ m s}^{-1} \quad \text{Foucault, Comptes Rendus, 1862}$$

e, ainda, para melhor conclusão da sua teoria de inclusão da Óptica no Electromagnetismo, estabelece a célebre relação entre "o índice de refração" e "o carácter electromagnético da substância" que na escrita de hoje se escreve

$$n = \sqrt{\mu\epsilon/\mu_0 \epsilon_0}$$

Em que μ , ϵ , μ_0 e ϵ_0 são respectivamente as permeabilidade e constante dieléctrica da substância em causa e do vácuo.

O repto estava lançado

Maxwell, no preâmbulo da sua comunicação de 1864, refere-se com respeito e cuidado ao estado actual da ciência do campo electromagnético.

Nomeadamente, salienta as teorias engenhosas de Weber (1849) e Neumann (1858).

A comunicação de Maxwell:

A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field. By J. Clerk Maxwell, F.R.S, foi recebida em 27 de Outubro e lida em 8 de Dezembro de 1864.

Com a naturalidade dos dias de hoje, consta dos PHILOSOPHYCAL TRANSACTIONS OF THE ROYAL SOCIETY OF LONDON FOR THE YEAR MDCCCLXV, VOL. 155 que, encadernadas e em volume próprio, se encontram na Biblioteca da Academia das Ciências de Lisboa.

Vasta e diversa foi a obra de Maxwell mas nessa obra avulta o Electromagnetismo.

À comunicação de 1864, mais tarde, seguiu-se, mas nela se radica, o Treatise on Electricity and Magnetism publicado em 1873.

Maxwell nasceu em 13 de Junho de 1831 no ano em que, em 24 de Novembro, Faraday anunciou a Lei de Indução.

Maxwell morre em 5 de Novembro de 1879 e nesse mesmo ano Helmholtz alertou e pressionou Hertz quando este buscava um tema para a sua dissertação de doutoramento.

O tema proposto, a inspiração provinha das Equações de Maxwell.

2 - Heinrich Hertz

Vida, obra e repercussões

A vida científica de Hertz radica-se na Escola de Berlim, liderada por Helmholtz. Aí se dedicou, na década de 70, especial interesse aos princípios fundamentais da Electrodinâmica.

Confrontavam-se as Teorias do Continente com a Teoria de Maxwell.

Nesse espírito, Helmholtz propôs um prémio no âmbito da Academia Prussiana das Ciências. Que, em última análise, se investigasse experimentalmente a existência de qualquer relação entre forças electromagnéticas e a polarização dieléctrica dos materiais isolantes. Por forças, e na linguagem de hoje, entendam-se campos electromagnéticos.

Na Teoria de Maxwell admitia-se, de acordo com a definição de corrente total,

$$C = J + \frac{\partial D}{\partial t} ,$$

que a variação da polarização produziria os mesmos efeitos que a corrente de condução.

Note-se que $D = \epsilon E = \epsilon_0 E + P$, em que P é a polarização.

No vácuo, no éter celular de Maxwell, $D = \epsilon_0 E$ e ainda aí, nessas circunstâncias, se deveriam produzir efeitos análogos aos da corrente de condução. Esta consequência e generalização foi profundamente sentida e salientada por Hertz no decurso das suas experiências.

Hertz nunca se limitou a uma atitude de um experimentalista puro, perspectivava os resultados das suas experiências através de prévias considerações teóricas, por estimativa do que se esperava, calculando com o que a teoria, de então, permitia.

Assim, quando Helmholtz lhe propôs que no âmbito de um doutoramento concorresse ao prémio da Academia, hesitou.

Era demais, sentiu assim, para uma dissertação de doutoramento que a desejava mais rápida e, em conformidade, incidindo sobre um assunto mais concreto.

As conclusões a que tinha chegado não eram as que desejava ter obtido: recorrendo a oscilações associadas a garrafas de Leyden ou às que se estabeleceriam com bobinas aplicadas a circuitos abertos, não dispunha de meios de medida que lhe permitissem evidenciar qualquer fenómeno nítido.

Declinou o convite, pelo menos, para desde logo e no âmbito da preparação do doutoramento que realizou com uma dissertação sobre a "indução electromagnética em esferas em rotação".

Mas o problema permaneceu, não o enjeitou, nem afastou das suas preocupações.

Durante três anos desempenhou as funções de assistente de Helmholtz (1880-83) e mais tarde e durante dois anos foi Privatdozent na Universidade de Kiel (1883-85).

Em 1886 obteve uma cadeira na Technische Hochschule in Karlsruhe.

Como Hertz mais tarde escreveu, ter-lhe-ia sido impossível passar despercebida qualquer coisa de novo e importante nessas oscilações em que já pensava e se lhe ofereciam insuficientes para investigar o que pretendia.

Assim previa, assim aconteceu.

Estávamos na primavera de 1886.

No gabinete de Física de Karlsruhe encontrou o que então se designava por "espirais de Riess ou Knochenhauer"

Eram duas bobinas planas, enroladas em dupla espiral.

Quando se procedia a uma descarga através do primário, observavam-se descargas fortes no secundário, em aberto.

Hertz visava uma experiência pedagógica.

Mas alguma coisa o espantou: a sensibilidade do secundário que não exigia grandes garrafas de Leyden para evidenciar faíscas fortes, nítidas.

Porquê?

A teoria não previa tanto.

Uma explicação seria a de a descarga das garrafas de Leyden provocar oscilações extremamente rápidas.

Isto foi o começo do que então se seguiu.

Guiado por esta convicção, Hertz empenhou-se na obtenção de meios que lhe permitissem estabelecer sistematicamente oscilações de altíssima frequência.

Tratava-se das frequências mais altas, até então conseguidas.

Preocupou-se, ainda, e como era natural e praticamente necessário, em evidenciar, experimentalmente e de modo seguro, a real existência dessas oscilações.

Recorreu Hertz ao fenómeno da ressonância, bem conhecido no domínio do som e em que, Helmholtz trabalhara, concebendo, além doutros ressoadores, o célebre ressoador esférico que recebeu o seu nome.

Estávamos nos finais de 1886 e os trabalhos prolongaram-se até aos primeiros meses de 1887.

Rhumkorff tinha inventado a "sua bobina" em 1855 que, em última análise, se baseava nas ideias de Faraday, na lei de indução. Tratava-se de um transformador (sem núcleo de ferro) em que o secundário tinha um número elevado de espiras.

Disponha-se assim, de uma tensão elevada que era aplicada aos terminais de um "fáscador": duas esferas pequenos e próximas onde, por disrupção, se estabelecia uma faísca.

Se a esses terminais se tivesse ligado as armaduras de um condensador, este, antes do início da disrupção, estava carregado e era a energia assim acumulada que conduziria a uma eventual descarga oscilante.

A auto-indução do sistema não estava materializada em nenhuma bobina. É tão simplesmente aquela que está associada indissolivelmente ao

sistema. Em frequências muito elevadas isso basta para sustentar uma oscilação atenuada embora com número apreciável de períodos.

Se na vizinhança existir uma espira aberta, dispondo também de um faiscador, é possível obter tensões que provoquem uma interrupção e por ressonância obter correntes induzidas elevadas. Agora o que é evidente e ressalta é a espira a que está indissolúvelmente associada uma capacidade equivalente.

Aqui temos na linguagem de hoje o sistema concebido por Hertz e que lhe permitia obter frequências muito elevadas e com uma sensibilidade insuspeitada detectá-las e sustentar por ressonância faíscas no detector que se passou a designar por ressoador eléctrico de Hertz.

Nestas experiências Hertz usou uma bobina de Ruhmkorff de dimensões apreciáveis, comprimento 52 cm e diâmetro 20 cm.

O oscilador de Hertz que se passou a designar por Dipolo Eléctrico de Hertz era constituído por duas esferas metálicas de 30 centímetros de diâmetro (as armaduras do condensador) ligadas por uma haste rectilínea de 2,6 m de comprimento interrompida no centro pelas duas esferas próximas do faiscador.

Como detector, Hertz utilizou um ressoador quadrado, de lado 75 cm, interrompido no centro de um dos lados por um faiscador com regulação micrométrica.

Mais tarde, este ressoador tornou a forma de uma espira circular.

Foi com estes dispositivos que Hertz conseguiu produzir e evidenciar experimentalmente oscilações amortecidas com uma frequência de oscilação da ordem dos 10^8 Hz.

Numa linguagem corrente da radiotecnica, frequências da ordem da centena do Megahertz.

Estes resultados constam da comunicação de 1887 "Über sehr schnelle elektrische Schwingungen" publicada nos Wiedemanns Annalen, o que em português significa. "Sobre as oscilações eléctricas muito rápidas".

Para melhor observar a faísca do ressoador colocou-o numa caixa. Nessa obscuridade a faísca diminuiu de intensidade.

Hertz concluiu que esse aumento da faísca quando se retirava da caixa era devido à luz emitida pelo faiscador do oscilador. Fundamentalmente e como hoje é bem conhecido à radiação ultravioleta associada.

A luz solar provocava efeitos idênticos.

Estava descoberto o efeito fotoeléctrico:

Uma das heranças que Einstein recebeu de Hertz e soube frutificar.

Assim, estabeleceu a célebre fórmula $E=hf$ que traduz, como se sabe, um processo quântico em que a cada fóton de "frequência" f está associado um quantum de energia hf em que h é a constante de Planck.

Hertz deixou as investigações do efeito fotoeléctrico nas mãos de Hallwachs. Outros, desde logo se interessaram pelo assunto, mas só em 1905 surgiu a interpretação genial de Einstein a qual foi recebida com reserva pela comunidade científica.

Mais tarde, em 1921, foi-lhe atribuído o Prémio Nobel de Física: pelas suas contribuições para a física teórica e, em particular, pelo sua descoberta da lei do efeito fotoeléctrico.

Não há uma alusão explícita à Teoria da Relatividade que era ainda objecto de diversas controvérsias.

O efeito fotoeléctrico, entretanto, tinha sido verificado experimentalmente por Milikan em 1916 no domínio do ultravioleta e, mais tarde, em 1920, por Broglie para os raios X.

Nos tempos de Hertz e seus contemporâneos o efeito fotoelétrico foi tomado como prova de uma estreita ligação entre o electromagnetismo e a óptica.

Mas voltemos a Hertz e às experiências que o levariam à descoberta experimental das ondas electromagnéticas.

Nas tentativa de explicar certos factos imprevisíveis Hertz fala, refere-se a ondas ao longo de fios.

Nomeadamente, salientou que pela primeira vez se conseguiu observar a acção entre correntes rectilíneas abertas.

Interrogou-se sobre se este facto permitiria comparar as teorias de Maxwell com as de outros.

Obtida a certeza da produção de oscilações de alta frequência, Hertz, fiel aos objectivos enunciados por Helmholtz, procurou demonstrar experimentalmente que as correntes através de dieléctricos provocavam efeitos magnéticos idênticos àqueles que provocavam as correntes de condução.

Hertz desenvolveu um método engenhoso que permitia, por adequada posição do detector, separar os efeitos eléctricos dos efeitos magnéticos que eram estes que se pretendiam evidenciar.

Foi exactamente nesta fase das suas experiências que Hertz notou e se surpreendeu com o facto obter acções importantes para distâncias relativamente elevadas do detector. A convicção das anteriores teorias é de que esses acções deveriam atenuar-se mais acentuadamente, de acordo com a lei do inverso do quadrado da distância.

Os objectivos explicitados pelo tema do prémio da Academia Prussiana tinham sido parcialmente atingidos, experimentalmente demonstrados:

A variação da polarização de um dieléctrico acompanhava-se de campo magnético.

Também se desejava averiguar se as linhas de forças do campo magnético na sua variação no espaço (e no tempo?) provocariam campos eléctricos. Hertz trabalhou nesse sentido.

Mas, para Hertz, começaram a configurar-se aspectos interessantes e que eram originais e genuinamente característicos das teorias de Maxwell.

Um deles era o facto do espaço livre de matéria se comportar como um material dieléctrico:

A corrente de deslocamento no vácuo cria um campo magnético.

Era um facto mas uma dificuldade subsistia.

Hertz não conseguia demonstrar separadamente que, no ar, campos eléctricos variáveis criassem campos magnéticos e que, também, campos magnéticos variáveis criassem campos eléctricos.

Mas e, para nós, é o pensamento mais fecundo de Hertz, pressentia que podia demonstrar simultaneamente os dois efeitos se conseguisse provar a existência de ondas electromagnéticas propagando-se no ar com velocidade finita.

Reflexões desta natureza conduziram ao problema da efectiva existência de ondas electromagnéticas propagando-se no ar, o que, isso sim, revelaria e confirmaria o que, na realidade, era novo e essencial na Teoria de Maxwell.

Note-se que naquela época se aceitava e sabia que a "electricidade" leva tempo a propagar-se ao longo de um cabo.

Se o mesmo oscilador excitar ondas num cabo e no ar o padrão de interferência será um e facilmente previsível se as velocidades forem idênticas.

Mas se apenas houver ondas no cabo e no ar se verificasse acção a distância, velocidade infinita, o padrão de interferência seria diferente e facilmente comparável com o outro que se obteria, verificando-se a primeira hipótese.

Este o pensamento fundamental que presidiu às experiências e veja-se como Hertz, investigando, não punha de parte a hipótese da acção a distância.

Foram experiências difíceis. Arrojadas. Não tomaram em consideração plena a influência das circunstâncias em que decorriam e ainda bem. A minúcia, por vezes, destroi a criatividade.

De tudo isto resultou que objectivo fundamental foi atingido. A partir da análise de padrões de interferência (ondas estacionárias) Hertz provou a existência de ondas electromagnéticas no ar e que a sua velocidade de propagação era finita.

Surge assim a sua comunicação fundamental de 1888 publicada nos Wiedemanns Annalen "Über die Ausbreitungsgeschwindigkeit der elektrodynamischen Wirkungen" o que em português se poderia traduzir por "Sobre a velocidade finita de propagação de acções electromagnéticas".

Ainda outras experiências e novos resultados: "Über elektrodynamische Wellen im Luftraume und deren Reflexion" ou seja "Sobre as ondas electrodinâmicas no ar e sua reflexão".

Não entramos aqui nas vicissitudes destas experiências apenas nos limitamos a referir que tudo estaria certo se não houvesse reflexão das ondas.

Quando mais tarde se repetiu estas experiências e se eliminaram as reflexões as conclusões de Hertz confirmaram-se e a favor das teorias de Maxwell. No entanto, Hertz, apercebeu-se da possibilidade de reflexão e nessa consciência produziu no laboratório ondas electromagnéticas (dispensou o cabo) e colocou na parede oposta ao oscilador uma lâmina metálica,

Existissem, de facto, ondas electromagnéticas propagando-se no ar e no laboratório deviam reflectir-se e conduzir a um padrão de interferência típica de ondas estacionárias.

Assim sucedeu e nisso se motivou o segundo artigo de 1888 e que acabamos de referir. "Sobre as ondas electromagnéticas no ar e sua reflexão".

De todas as experiências que realizou, a identificação da luz com um fenómeno electromagnético tornou-se clara e evidente, era o triunfo da teoria de Maxwell: existiam ondas electromagnéticas e propagavam-se com a velocidade da luz, o que era, em última análise, consequência das Equações de Maxwell.

Esta série de trabalhos experimentais culmina com um trabalho teórico notável, diríamos que é o primeiro trabalho teórico sobre uma antena de emissão.

Hertz mostrou que é possível representar o campo electromagnético em função de um único vector: o vector de Hertz.

A partir desse vector, Hertz determina o campo electromagnético associado ao que hoje se designa por Dipolo Eléctrico de Hertz.

Hertz determinou o campo e traçou as suas linhas de força.

É um trabalho extremamente importante e paradigmático.

Aí se revela claramente a zona próxima onde o campo eléctrico se filia trivialmente nas cargas do dipolo e o campo magnético se filia no vórtice que é a corrente de condução.

Aí se vê claramente, na zona de radiação, um campo electromagnético autónomo: linhas de força do campo eléctrico fechadas, encadeadas com linhas de força do campo magnético, que essas são sempre fechadas.

Neste resultado se consubstancia o mecanismo essencial que preside à propagação das ondas electromagnéticas no vácuo e de que o ar e para este caso é uma boa aproximação.

Tudo isso consta do trabalho "Die Kräfte elektrischer Schwingungen behandelt nach der Maxwell'schen Theorie" ou seja em português "As forças das oscilações eléctricas tratadas de acordo com a Teoria de Maxwell". Por forças entenda-se o campo eléctrico E e o campo magnético H .

Com este trabalho, Hertz culmina, da melhor maneira, os seus trabalhos sobre ondas electromagnéticas. De facto, aí se contém a implícita

aplicação às comunicações o que foi sentido profundamente por Marconi e conduziu a sistemas eficientes e de grande alcance de radiocomunicações. Neste domínio do espectro diz-se, em homenagem a Hertz, que se trata de ondas hertzianas. Sem prejuízo de uma natural extensão a frequências mais baixas e também mais altas, o espectro das ondas hertzianas estende-se, convencionalmente, dos 10 KHz até aos 300 GHz ou seja ondas electromagnéticas com um comprimento de onda desde 30 Km até 1mm.

Em 1890 Hertz publicou dois trabalhos teóricos notáveis:

- Über die Grundgleichungen der Electrodynamik für ruhende Körper, Wiedemanns Annalen, 1890, 40, pg. 577-624
- Über die Grundgleichungen der Elektrodynamik für bewegte Körper, Wiedemanns Annalen, 1890, 41, pg. 369-399.

ou seja, respectivamente, e em português:

- Sobre as equações fundamentais da Electrodinâmica dos corpos em repouso.
- Sobre as equações fundamentais da Electrodinâmica dos corpos em movimento.

São trabalhos que, recorrendo à simplicidade do essencial, se desenvolvem com uma lógica impecável, decorrente das hipóteses assumidas.

A escrita das equações de Maxwell assumiu a forma elegante que lhes conferiu Heaviside e Hertz, sucessivamente.

Para Hertz, a Teoria de Maxwell era o conjunto das Equações de Maxwell.

Essas equações traduzem leis experimentais que podem ser testadas.

As cargas eléctricas e as correntes eléctricas são tomadas como símbolos matemáticos e representam, respectivamente, pontos limite de convergências ou divergências das linhas de força do campo eléctrico e eixos de vórtices das linhas de força do campo magnético.

Na exposição de Hertz não se recorre a qualquer hipótese mecanicista.

Hertz entendia e salientava que especulações sobre a natureza da matéria impediam o progresso, eram questões ilegítimas.

Coerentemente, Hertz, não discutiu a natureza da electricidade nem discutia a essência do éter.

Esta atitude havia de conduzir a dificuldades.

Como sabiamente salienta Edmond Bauer, a crise que se motivou com a Teoria de Maxwell, que foi desencadeada por Hertz e se continuou, noutra atitude, com Lorentz, revela que a Ciência, se quiser progredir, e do mundo real nos facultar concepções positivas e consistentes, terá, e quando isso for necessário e convier, passar do ponto de vista do fenomenológico a hipóteses de estrutura e inversamente.

Como nos diz M. Tonnelat, a teoria electromagnética da luz, de Maxwell, nada nos diz nem garante sobre o arrastamento parcial do éter da Óptica, teorizado por Fresnel. Como salienta Max Born, Hertz foi o primeiro a utilizar a hipótese da completa convecção do éter pelos dieléctricos em movimento e isto no que respeita ao Electromagnetismo.

Adoptou, assim, a hipótese formulada por Stokes para os fenómenos da Óptica.

Hertz estava plenamente consciente da arbitrariedade que cometia.

A teoria de Fresnel e a experiência de Fizeau, e isso sabia-o Hertz, constituíam-se em indicação para que assim não fosse.

A teoria de Hertz revelou fenomenologia nova, qualitativamente era talvez aceitável, quantitativamente não, como ficou demonstrado pelas experiências de Röntgen (1885) e Eichenwald (1903), relativamente ao deslocamento lento de um isolante num campo eléctrico e, bem assim, pelas experiências de Wilson (1904), relativamente ao deslocamento no seio de um campo magnético.

A teoria de Hertz era simples e explicava correctamente os fenómenos de indução em condutores em movimento.

O desacordo surgiu nos resultados experimentais relativamente a dieléctricos em movimento, no seio de um campo eléctrico ou magnético.

Assim, na experiência de Röntgen, o desvio da agulha magnética, reveladora de um campo magnético, tinha-se verificado ser bastante menor do que a teoria de Hertz previa. Isso numa proporção que nos conduz ao factor

$$\frac{\epsilon - \epsilon_0}{\epsilon} = 1 - \frac{1}{\epsilon_r} = 1 - \frac{1}{n^2} = \alpha$$

que é exactamente o factor de arrastamento de Fresnel.

Note-se que ϵ é a constante dieléctrica do meio em causa e ϵ_0 a constante dieléctrica do vácuo. De acordo com a teoria de Maxwell, a constante dieléctrica relativa $\epsilon_r = \epsilon/\epsilon_0$ é igual ao quadrado do índice de refração, n .

Hertz não foi bem sucedido, mas foi êle que desencadeou a crise que se estabeleceu na Electrodinâmica dos Corpos em Movimento.

Desde que se aceitasse a plena identificação da Óptica com o Electromagnetismo, desde que, em consequência, se identificasse o éter da Óptica com o éter do Electromagnetismo, a Electrodinâmica dos Corpos em Movimento teria que passar por duas provas severas: explicar, através das Equações de Maxwell, a experiência de Fizeau e, ainda, o resultado negativo da experiência de Michelson.

Nisso se empenhou Lorentz

Em 1892 publicou um artigo intitulado "A teoria electromagnética de Maxwell e sua aplicação aos corpos em movimento"

Lorentz aceitava o éter mas distinguia entre esta substância e a matéria: a matéria é tudo quanto possa ser rede de correntes eléctricas e movimentos electromagnéticos. Éter seria tudo quanto não é matéria ponderomotriz.

Nesse artigo, Lorentz preocupou-se com o problema de exprimir as Equações de Maxwell num referencial de inércia que se movesse com velocidade constante e uniforme relativamente ao éter.

Nesse mesmo artigo deduziu o factor de arrastamento de Fresnel embora este resultado não tenha sido a motivação primeira.

Ainda em 1892, num artigo intitulado "O movimento relativo da Terra e do Éter", discutiu as experiências de Michelson e Michelson-Morley e baseado numa lei newtoniana de adição de velocidades enunciou a sua arrojada hipótese de que o resultado nulo se poderia explicar por uma contracção do braço do interferómetro orientado segundo a direcção do movimento.

Este artigo veio à luz em 26 de Novembro de 1892 e a hipótese foi apresentada com independência de igual proposta formulada por Fitzgerald em 1889.

Em 1904, Lorentz publicou a sua versão final da Electrodinâmica dos Corpos em Movimento o que consta do artigo intitulado "Electromagnetic Phenomena in a System Moving with any Velocity less than that of Light".

Aí aparecem, pela primeira vez, formalmente acabadas, as Transformações de Lorentz.

Estas transformações tinham sido obtidas em 1900 por Larmor o que consta do seu livro Aether Matter.

Mas seriam estas transformações, as de ambos, em conteúdo e significação, as mesmas que foram deduzidas e funcionam na Teoria da Relatividade Restrita?

Não eram.

Virtude maior é a da indicação de uma covariância das Equações de Maxwell sob essas transformações.

Permanecia o éter, havia uma referência sistemática e obrigatória ao éter.

Quem o dispensou foi Einstein que, a partir dos dois princípios que informam a Teoria da Relatividade Restrita, reduziu a consequências a experiência de Fizeau e as experiências de Michelson e Michelson - Morley.

Assim, e de forma brilhante, terminou a crise que Hertz desencadeou e se estabelecera no seio do Electromagnetismo, mais concretamente, na Electrodinâmica dos Corpos em Movimento.

Agora tudo se explicava. E mais, a Física enriquecia-se com uma nova teoria, universal, fonte de harmonia: a Teoria de Relatividade.

Em 1890 Hertz publicara "Über die Grundgleichungen der Electrodynamik für bewegte Körper". Em 1905, quase sob o mesmo título, Einstein fecha a questão com o seu célebre artigo "Zur Elektrodynamik bewegte Körper".

Aí se continha uma revisão profunda do espaço e tempo que passaram a ficar indissolivelmente ligados, integrando o quadri-vector espaço-tempo.

Para tanto bastou que Einstein postulasse dois princípios :

- O Princípio de Relatividade, restrito a referenciais de inércia
- A constância da velocidade de propagação de sinais electromagnéticos no vácuo e relativamente a qualquer referencial de inércia.

As transformações que Einstein estabeleceu são idênticas, formalmente, às de Lorentz, mas deixa de haver qualquer referencial privilegiado: são transformações intermutáveis entre referenciais equivalentes. Esta a marca fundamental da Teoria da Relatividade.

Hertz viveria pouco

Experimentalmente, ainda se interessou e realizou experiências com raios catódicos.

Não conseguiu um vácuo que lhe permitisse evidenciar a deflexão desses raios por um campo eléctrico forte.

Podia ter descoberto os electrões

Podia ter gerado e observado os raios-X.

O seu último trabalho é de natureza teórica "Die Principien der Mechanic, in neuen Zusammengange" ou seja, em português, "Os princípios da Mecânica apresentados numa nova forma".

É uma obra póstuma, prefaciada por Helmholtz, que faleceu no mesmo ano de Hertz.

Hertz faleceu no dia 1 de Janeiro de 1894.

Neste seu último trabalho tentou estabelecer uma reformulação da mecânica em que, além do mais, a acção a distância se explicava por uma rede de massas ocultas que assegurava um processo de acção contígua idêntica à que se observa na teoria do Electromagnetismo.

É uma obra controversa que, no entanto, tem vindo a merecer renovado interesse.

Hertz não deu especial atenção a eventuais aplicações das ondas electromagnéticas.

Hertz foi despertado por Helmholtz no ano da morte de Maxwell, 1879.

Marconi, foi despertado por Righi no ano da morte de Hertz, 1894.

Uma notícia necrológica extensa e descritiva da obra de Hertz, escrita por Righi, surpreendeu Marconi, de férias nos Alpes Italianos. Tinha 20 anos. Nasceu em 25 de Abril de 1874.

Volta a casa, à Villa Sriffone, perto de Bolonha.

Aí repete Hertz e vai além

Parte para Inglaterra.

Em 2 de Junho de 1896 requer uma patente para a Telegrafia sem Fios, o que acontecia pela primeira vez no Mundo.

Em Dezembro de 1901 consegue uma ligação radiotelegráfica da Europa para a América.

Em 1924, após intensas pesquisas experimentais a bordo do seu barco Electtra, telefonou, via rádio, de Inglaterra para a Austrália.

As ligações hertzianas directas, por difracção ou via ionosfera, eram uma realidade que marcou profundamente o Século XX.

Na realidade foi uma tríada notável:

Maxwell - Hertz - Marconi

Foi desta sequência que resultou a fama maior para Hertz.

Mas Hertz não foi só isso.

Corajoso, não se submeteu ao preconceito, à magestade do que já era.

Iluminou as suas experiências com o poder da sua observação e crítica científica.

Não experimentava ao acaso: previa, antevia, desistia, por vezes, perante a indicação de sinais físicos tão fracos que não podia detectar. Assim e por isso foi declinado em 1879 o convite de Helmholtz.

Buscava e filiava-se nos princípios primeiros, ansiava por uma simplicidade suficiente.

Conseguiu experimentalmente o que Faraday já intuira e tentara. Disso sabia êle.

Confirmou e contribuiu poderosamente para a difusão da Teoria de Maxwell.

Consciente que esta teoria não esclarecia nem tinha conseguido ainda aquilo que convinha completar, preocupou-se com a Electrodinâmica dos Corpos em Movimento.

Aí definiu uma linha de investigação onde avultou Lorentz e culminaria com Einstein: desinventor do éter e criador da Teoria da Relatividade.

A nossa profunda admiração e respeito para o físico ilustre, lógico, consistente e corajoso que foi e soube ser Heinrich Rudolf Hertz, êrros que teve, foram, quem sabe, virtudes de inteligência, lógica e carácter.

Referências

- I. Adawi - Centennial of Hertz' Radio Waves,
Am. J. Phys. 57 (2), February 1989.
- Philip and Emily Morrison - Heinrich Hertz,
Scientific American, 1957
- Joseph F. Mulligan - Hermann von Helmholtz and His students, Am. J.
Phys. 57 (1), January, 1989.
- J.G. O'Hara e W. Pricha - Hertz and the Maxwellians - A Study and
Documentation of the Discovery of Electromagnetic
Wave Radiation, Peter Peregrinus Ltd., London,
1987.
- Edmond Bauer - L'E'lectromagnétisme - Hier et Anjourd'Hui, Albin
Michel, Paris, 1949.
- M.J. de Abreu Faro - Da Modernidade do Campo Electromagnético:
Dos Fundamentos às Actuais Aplicações
Departamento de Física, Universidade de Évora,
1990.
- William Berkson - Las Teorias de Los Campos de Fuerza - Desde Faraday
hasta Einstein, Aianza Universidad, Alianza
Editorial, Madrid, 1985.
- J.M. Sanchez Ron - El Ongen Y Desarrullo de la Relatividad, Alianza
Universidad, Alianza Editorial, Madrid, 1985.
- Max Born - Einstein's Theory of Relativity, Dover Publications,
New York, 1962.
- M.A. Tonnelat - Histoire du Principe de Relativité, Flamarion, Paris,
1971.
- Arthur F. Miller - Albert Einstein's - Special Theory of Relativity -
Emergence (1905) and Early Interpretation
(1905-1911) Addison - Wesley Publishing Company,
Reading, Massachussetts, 1981.
- W.J. Baker - A History of the Marconi Company, Methuen and
Co, London, 1970.