



Heinrich Hertz e as Ondas II

Heinrich Hertz and the Waves II

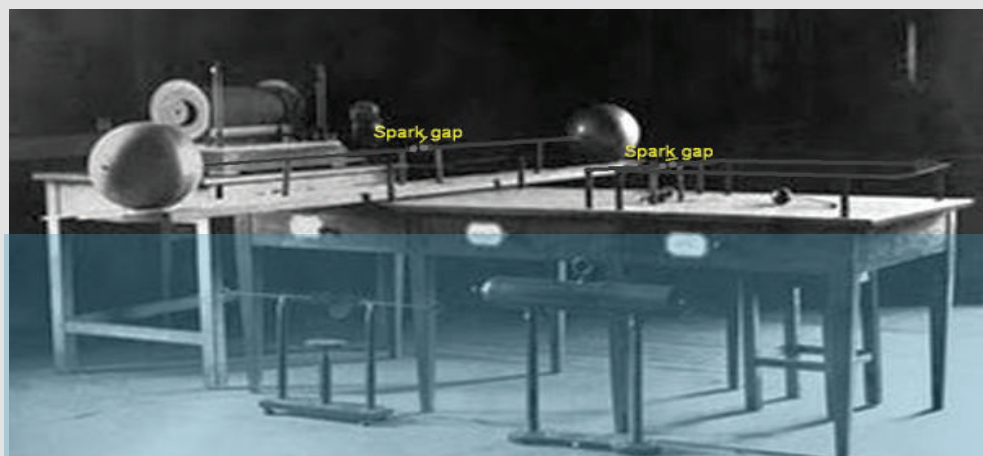
Hertz nas suas observações fez várias experiências com um emissor de ondas baseado nas propriedades do arco elétrico: como refere nos seus artigos, faíscas geradas num pequeno espaço entre esferas ("spark gap") do circuito primário originavam também faíscas no "spark gap" do detetor de ondas no circuito secundário. Verificou que com a incidência sobre as esferas de luz ultravioleta, obtida por separação do espectro de luz normal através de um prisma, a dimensão das faíscas se alterava, embora não ocorresse esse fenómeno com luz de outros comprimentos de onda. Hertz descobriu, assim, que a luz ultravioleta facilitava o mecanismo de geração de faíscas; hoje sabe-se que a luz ultravioleta consegue arrancar eletrões aos metais e isso facilita o início da disrupção elétrica do ar e a geração da faísca elétrica.

In his observations, Hertz made several experiments with a wave emitter based on the properties of an abrupt electrical discharge: as mentioned in his articles, electric sparks generated in a small space between spheres ("spark gap") of the primary circuit also originate sparks in the "spark gap" of the wave detector in the secondary circuit. He verified that with the incidence of ultraviolet light, obtained by separating the spectrum of normal light through a prism, on the spheres, the size of the sparks changed, although this phenomenon did not occur with light of other wavelengths. Hertz thus discovered that ultraviolet light facilitated the mechanism of spark generation; today it is known that ultraviolet light is able to extract electrons from metals and this facilitates the beginning of the electrical disruption of the air and the generation of the electrical spark.

Hertz tinha assim descoberto o efeito fotoelétrico, que foi confirmado, mais tarde, em 1905, por uma teoria desenvolvida por Einstein, quando este tinha apenas 26 anos. Einstein, o pai da Teoria da Relatividade, haveria de ser Prémio Nobel em 1922, ainda com 43 anos, essencialmente pelo seu trabalho no efeito fotoelétrico, como esclareceu o Júri do Nobel da Física desse ano "for his work on theoretical physics, especially for his discovery of the law of the photoelectric effect".

Hertz had thus discovered the photoelectric effect, which was later confirmed in 1905 by a theory developed by Einstein, when Einstein was only 26 years old. Einstein, the father of the Theory of Relativity, was awarded the Nobel Prize in 1922, essentially for his work on the photoelectric effect, as the Nobel Jury of the Physics Prize of that year clarified: "for his work on theoretical physics, especially for his discovery of the law of the photoelectric effect".

Com o sistema de esferas deslizantes sobre o condutor central, Hertz conseguiu obter posições que maximizavam a amplitude das faíscas obtidas no circuito secundário (detetor), ou seja, colocava os dois circuitos em condições de ressonância na mesma frequência. Afastando o detetor do circuito primário e mudando a sua orientação, Hertz conseguiu detetar comportamentos diferentes do detetor, concluindo que havia dois tipos de campos radiados: um que se atenuava com d^3 , junto ao emissor, e outro, ortogonal, que se atenuava com d^2 , nas regiões mais afastadas. Hoje sabemos que se trata do campo próximo e do campo distante que um radiador eletromagnético sempre gera.



With the sliding ball system on the central conductor, Hertz was able to determine positions that maximized the spark amplitude obtained in the secondary circuit (detector), i.e., he reached the resonance conditions at the same frequency in both circuits. By moving the detector away from the primary circuit and changing its orientation, Hertz was able to detect different behaviors of the detector, concluding that there were two types of radiated fields: one that attenuated with d^3 , next to the emitter, and the other, orthogonal, that attenuated with d^2 , in the farthest regions. Today we know that this is the near and the far fields that an electromagnetic radiator always generates.

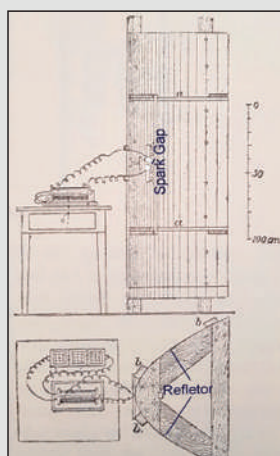
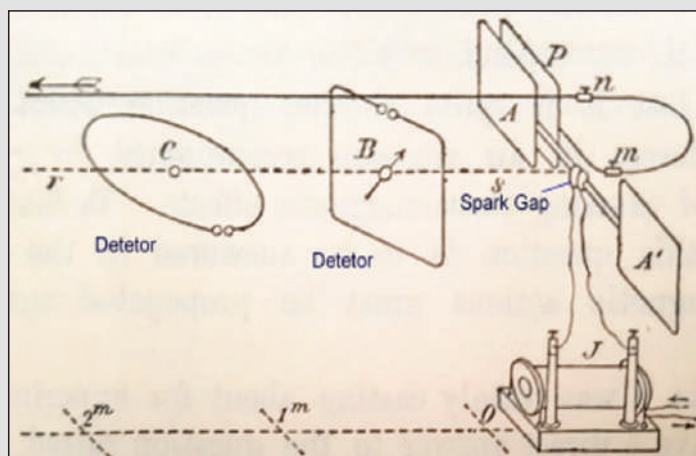
Hertz fez uma experiência que viria a ser fundamental para chegar à conclusão da existência das ondas eletromagnéticas. Colocou uma placa metálica com cerca de 4 m por 2 m na parede do laboratório, a cerca de 12 m do emissor. Se houvesse ondas, elas refletir-se-iam na chapa metálica e iriam interferir com as novas ondas que caminhavam para a parede. E assim foi. Detetou a sobreposição dos dois tipos de ondas com a detecção de máximos e mínimos de energia, manifestada na dimensão das faíscas do detetor em diferentes locais da sala. Mediu a distância, cerca de 4,2 m, entre máximos. Como conhecia a frequência do sinal (140 MHz), tendo em conta o valor do comprimento de onda λ -dado por metade do valor da distância entre máximos - estimou uma velocidade de propagação de cerca de 300 000 km/s, tal como aconteceria com a luz coerente. Foi aqui que verdadeiramente confirmou a teoria de James Maxwell.

Hertz made an experiment that was fundamental to demonstrate the existence of electromagnetic waves. He placed a metal plate of about 4 m by 2 m on the wall of the laboratory, 12 m away from the emitter. If there were waves, they would reflect on the metal plate and would interfere with the new waves that walked towards the wall. And so it was. It detected the overlapping of the two types of waves with the detection of maximum and minimum energy, manifested in the size of the detector sparks at

different locations in the room. It measured the distance, about 4.2 m, between maximums. Knowing the signal frequency (140 MHz), and taking into account the wavelength value, given by half of the distance between maximums, Hertz estimated the propagation velocity of about 300 000 km/s, as would be the case with coherent light. With that, James Maxwell's theory was confirmed.

Numa outra experiência, Hertz procurou determinar a velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas num condutor. Colocou a placa P por detrás da placa A ligada a um condutor retilíneo e verificou que neste condutor (às vezes com extremidade ligada à Terra, outras sem nada ligado - em vazio) também havia máximos consecutivos detetados pelos seus detetores em diferentes posições do fio. Mediu a distância entre dois máximos consecutivos e, para sua surpresa, detetou uma distância menor ($2,8m=2 \lambda$) da que era observada nas ondas no ar, o que só poderia ser explicado por uma velocidade de propagação no fio menor do que a velocidade no ar. Calculou esta velocidade e obteve o valor de cerca de 200 000 km/s, tendo verificado que o seu valor não variava muito com: (i) o tipo de fio usado, inclusivamente com a utilização de materiais magnéticos; (ii) o diâmetro do fio. Hertz provou deste modo que para altas frequências o facto de o fio ser magnético não tinha importância.

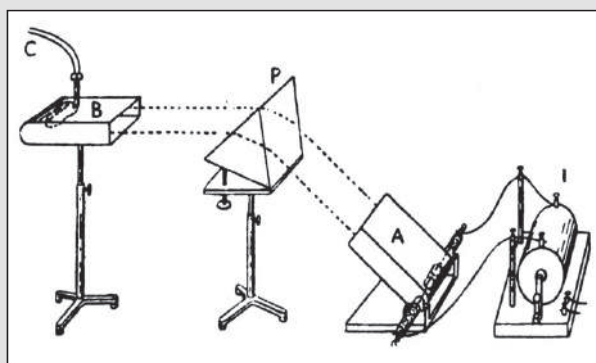
In another experiment, Hertz sought to determine the speed at which electromagnetic waves spread in a conductor. He placed the P-plate behind the A-plate connected to a rectilinear conductor and found that in this conductor (sometimes with an end connected to the earth, others with nothing connected - in vacuum) there were also consecutive maximums detected by his detectors in different positions of the wire. He measured the distance between two consecutive maxima and, to his surprise, detected a smaller distance ($2.8m=2 \lambda$) than the one observed in the air, which could only be explained by a speed of propagation in the wire lower than the speed in the



air. He calculated this speed and obtained the value of about 200 000 km/s. He found that this speed did not vary much with: (i) the type of wire used, including the use of magnetic materials; (ii) the diameter of the wire. Hertz thus proved that for high frequencies the fact that the wire was magnetic was irrelevant.

Entusiasmado com este resultado, Hertz verificou que o campo radiado pelo fio também interferia com o campo radiado pelas placas A A', mas que neste caso os máximos do campo total estavam espacialmente mais afastados (cerca de 7,5 m). Verificou que teria de ser assim devido à sobreposição de ondas de comprimentos de onda diferentes. Nesta experiência Hertz confirmou o ponto de vista de Faraday que admitia que os campos tinham existência própria e não eram uma propriedade dos objetos. Conclusão que tinha sido contestada por muitos cientistas.

Enthusiastic about this result, Hertz found that the field radiated by the wire also interfered with the field radiated by the A A' plates, but that in this case the maximums of the total field were spatially further apart (about 7.5 m). He found that this would be a consequence of the overlapping related to waves of different wavelengths. In this experiment Hertz confirmed Faraday's interpretation that admits that fields had their own existence and were not a property of objects. A conclusion that had been contested by many scientists.



Em 1888, Hertz estudou e fez experiências realçando a existência de diversos tipos de polarização das ondas eletromagnéticas e os efeitos da transmissão, da difração, da reflexão e da refração destas ondas em diferentes materiais. Hertz construiu refletores parabólicos de madeira mas com metais refletores para ver se as ondas se podiam concentrar, como acontece com a luz num espelho parabólico. Construiu prismas gigantes de cera para ver se estes também

refratavam as ondas tal como o prisma de vidro faz com a luz. Hertz conseguiu, assim, provar experimentalmente que o comportamento das ondas eletromagnéticas era análogo ao da luz.

In 1888, Hertz studied and made experiments that emphasized the existence of various types of polarization in electromagnetic waves and the effects of transmission, diffraction, reflection and refraction of these waves in different materials. Hertz built parabolic reflectors made of wood but with reflective metals to see if the waves would concentrate, as it happens with light in a parabolic mirror. He built giant wax prisms to see if these also refracted the waves just like the glass prism does with light. Hertz was able to experimentally prove that the behavior of electromagnetic waves was analogous to that of light.

O Professor Ambrose Fleming, inventor do díodo de vácuo, repetiu estas experiências descritas por Hertz e obteve as mesmas conclusões: as ondas eletromagnéticas comportam-se como a luz.

Professor Ambrose Fleming, inventor of the vacuum diode, repeated these experiments described by Hertz and reached to the same conclusions: electromagnetic waves behave like light.

Nos seus últimos trabalhos Hertz desenvolveu a teoria dos fenómenos eletromagnéticos para corpos em movimento, sujeito a algumas hipóteses limitativas, mas este assunto só viria a ser completamente resolvido, mais tarde, por Einstein.

In his latest works, Hertz developed the theory of electromagnetic phenomena for bodies in motion, subject to some limiting hypotheses, but this subject would only be completely resolved later, by Einstein.

Depois de estabelecer a ligação entre eletricidade e magnetismo uns anos antes, Faraday convicto de que na natureza estava tudo ligado, procurou também descobrir a ligação existente com a gravidade. Fez muitas experiências eletromecânicas mas não dispunha de instrumentos que permitissem tirar alguma conclusão sobre a existência dessa ligação.

After establishing the connection between electricity and magnetism a few years earlier, Faraday, convinced that in nature everything was connected, also tried to discover the connection with gravity. He did many electromechanical experiments, but he had no tools at his disposal to draw any conclusions about the existence of this connection.

A gravidade está relacionada com interações de matéria entre massas macroscópicas, enquanto o eletromagnetismo está relacionado com o movimento de partículas de carga extremamente pequenas. Hoje em dia está confirmado que há ondas gravitacionais que têm comprimentos de onda gigantesco (com espectro mais significativo na gama de comprimentos de onda de 10^9 km a 10^{21} km) e aceita-se que a distância mínima no universo é o comprimento de Planck (cerca de $1,6 \times 10^{-35}$ m). Mas está ainda por descobrir se existe uma relação mensurável, entre domínios de dimensões tão diferentes como os associados ao campo gravítico e ao campo eletromagnético, muito embora haja várias teorias a estabelecer esta ligação.

Gravity is related to matter interactions between macroscopic masses, while electromagnetism is related to the movement of extremely small charged particles. Today it is confirmed that there are gravitational waves that have gigantic wavelengths (with the most significant spectrum in the wavelength range of 10^9 km to 10^{21} km) and it is accepted that the minimum distance in the universe is the Planck's (about 1.6×10^{-35} m). But it remains to be seen whether there is a measurable relationship between domains of such different dimensions as those associated with the gravitational field and the electromagnetic field. Although there are several theories to establish this link.

Relativamente às ondas eletromagnéticas, Hertz descrevia, muitas vezes, aos seus alunos e também a outros cientistas, as propriedades muito interessantes das ondas eletromagnéticas que tinha descoberto. Quase sempre os seus interlocutores perguntavam: "para que serve isto tudo?". Ao que Hertz invariavelmente respondia, "I do not think that the radio waves that I have discovered will have any practical application". Aqui está uma ideia em que Hertz estava completamente errado. Morreu em 1894, com apenas 37 anos, sem poder apreciar o impacto que os seus trabalhos tiveram no desenvolvimento das radiocomunicações que nessa altura estavam a iniciar-se.

Regarding electromagnetic waves, Hertz often described the very interesting properties of the electromagnetic waves he had discovered, to his students and also to other scientists. Very often his interlocutors asked: "What is all this for?". To which Hertz invariably replied, "I do not think that the radio waves that I have discovered will have any practical application". Here's an idea where Hertz was completely wrong. He died in 1894 at the age of 37, unable to appreciate the impact his work had on the development of the radio communications that were just beginning.

No Museu Faraday pode encontrar a experiência de Hertz e a sua aplicação num recetor de rádio constituído por uma antena dipolo de Hertz e um detetor de rádio baseado no coesor de Branly, bastante mais sensível do que o anel de Hertz. Este recetor é uma réplica do que permitiu a Marconi fazer a primeira comunicação transatlântica de sinais de rádio.

At the Faraday Museum you can find Hertz's experience and its application in a radio receiver consisting of a Hertz dipole antenna and a radio detector based on Branly's cohesor, much more sensitive than the Hertz's ring. This receiver is a replica of what enabled Marconi to make the first transatlantic communication of radio signals.

Este trabalho foi baseado no livro de Heinrich Hertz "Electric Waves, publicado em 1893 pela Macmillan and Company e que foi exatamente reproduzido pela editora Dover Publications Inc. em 1962.

This work was based on Heinrich Hertz's book "Electric Waves," published in 1893 by Macmillan and Company and exactly reproduced by Dover Publications Inc. in 1962.



Recetor de Marconi