

**Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP
DISCIPLINA F-609 (TÓPICOS DE ENSINO DA FÍSICA)**

RELATÓRIO FINAL

Projeto: Oscilador de Hertz



Aluno: Frederico Hummel Cioldin RA: 060943

xfredcioldin@yahoo.com.br

Orientador: Mônica Alonso Cotta

xmonica@ifi.unicamp.br

Coordenador: José Joaquim Lunazzi

xlunazzi@ifi.unicamp.br

1) Introdução

Esse experimento consiste numa tentativa de reprodução com aparatos modernos do experimento de Hertz com o qual provou de maneira experimental a existência de ondas eletromagnéticas. Com este experimento foi possível o desenvolvimento de uma nova tecnologia de comunicação a distância que foi altamente empregada na Primeira Guerra Mundial, o telégrafo. Inicialmente, Hertz, conduziu experiências com um circuito constituído por uma garrafa de Leyden como condensador, uma bobina como indutância e um faiscador. Constatou, então, que a cada faísca que se produzia aparecia uma correspondente muito intensa em outra bobina, colocada em frente da primeira. O valor da capacitância era pequeno (a garrafa de Leyden possui pequena capacitância e forte resistência às altas tensões), mas o efeito era notável.

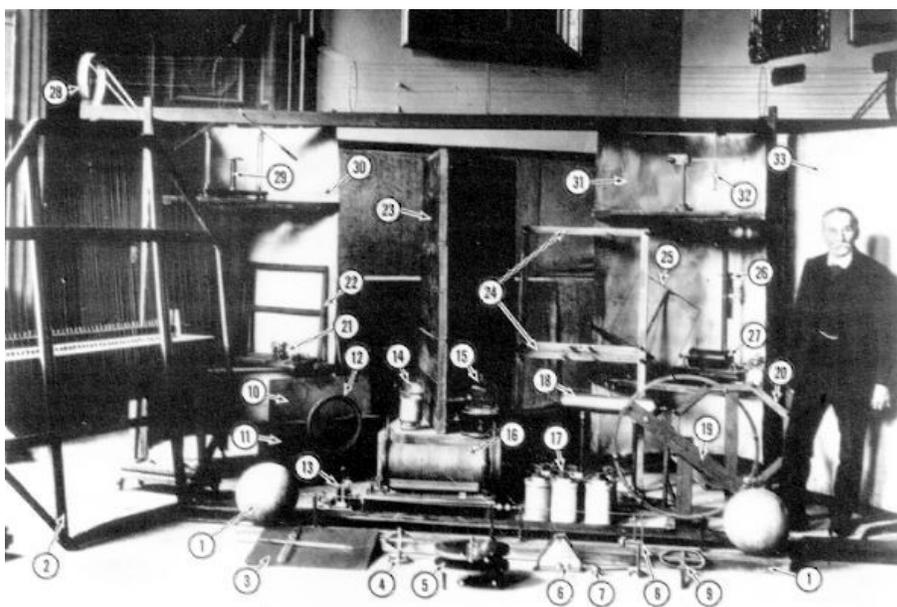


Fig 1: O experimento de Hertz

A proposta para o experimento foi montar um circuito oscilatório, com um pequeno espaço (gap) para a produção de uma faísca forte o suficiente para induzir em um circuito externo outra faísca, assim provando a existência de ondas eletromagnéticas.

2) Resultados atingidos:

Inicialmente foram feitos inúmeros testes utilizando indutores e capacitores mas melhoramos os resultados em relação ao circuito proposto para tornar o experimento mais compatível com o objetivo didático que visualizamos. Durante uma das montagens o Eng. Pedro Raggio, sugeriu o uso de um faiscador utilizado num experimento didático para os cursos de graduação. Este faiscador, contém uma bobina de ignição do tipo utilizado em carros, capaz de elevar uma tensão de 12VCC para 15kVCC, assim produzindo uma faísca entre os contatos do dispositivo desenvolvido para este experimento. Também o faiscador conta com um disparador e um controle de frequência para as descargas. Um outro aprimoramento no experimento foi feito utilizando um capacitor variável e para melhorar a percepção dos alunos em uma classe foi usado como receptor um rádio. Pode-se então ouvir a transmissão ou interferência de radiofrequência quando a faísca é produzida. Como o rádio utilizado tem como fonte de energia quatro pilhas de 1,5V a interferência proveniente da rede elétrica é zero, portanto este efeito é puramente eletromagnético com as ondas produzidas pela faísca. De certa forma, é uma maneira de provar a existência das ondas eletromagnéticas. Como alternativa para aqueles que interessarem em reproduzir este experimento proponho que, em substituição ao faiscador, se utilize uma bobina de carro, um capacitor e um platinado conectados a uma bateria de automóvel, tomando todos os cuidados necessários ao se trabalhar com alta tensão. Utilizando uma sugestão foi encontrado uma forma de baratear e deixar o experimento mais em conta, utilizando um simples circuito com uma central de fogão doméstico(usina de fogão). Com este circuito consegue-se a interferência mas dependendo do modelo de usina usada, não temos o efeito visual da faísca.

3) Fotos do experimento:

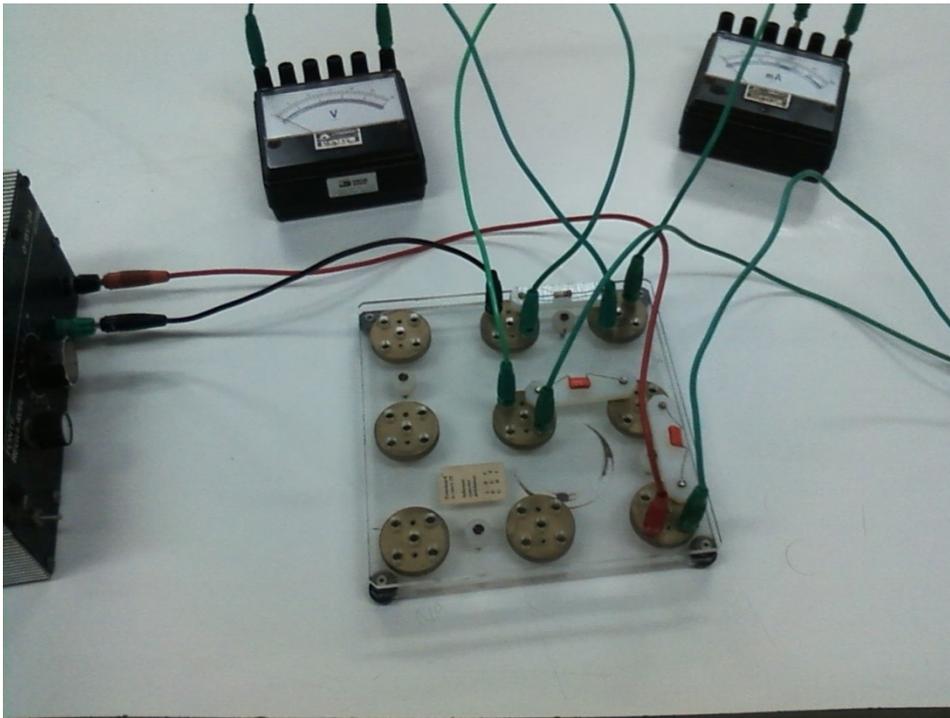


Fig 2: Teste do circuito oscilador utilizando capacitores e indutores



Fig 3: Faiscador sugerido para substituição do circuito oscilador



Fig 4: Faisca produzida pelo faiscador.

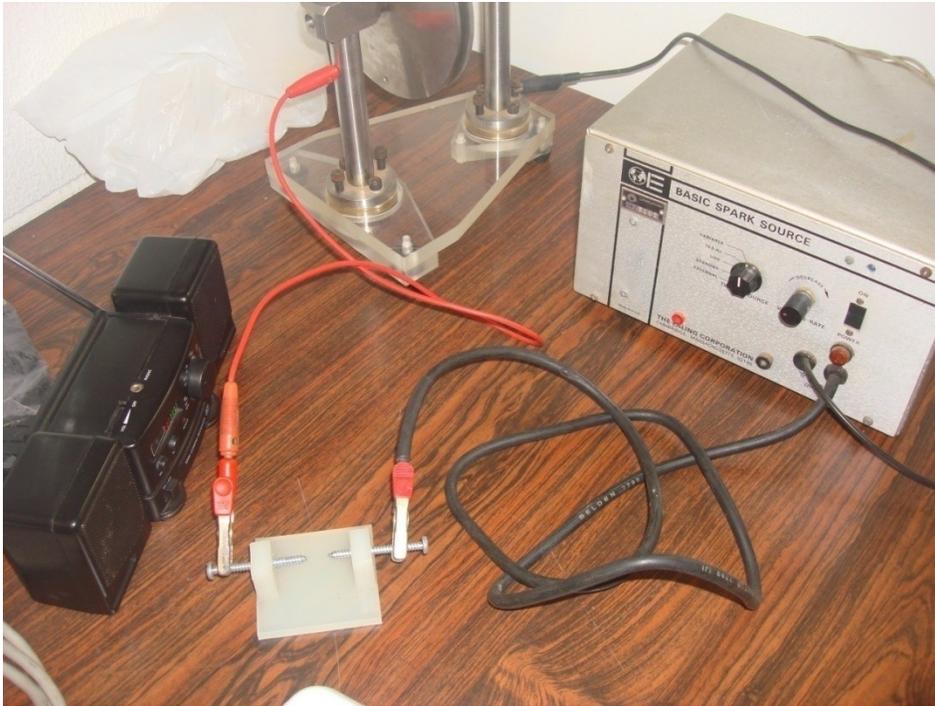


Fig 5: Novo circuito e o rádio receptor.



Campinas, 07 de Julho de 2010



Fig 6 e 7: Capacitor variável fechado e aberto respectivamente.

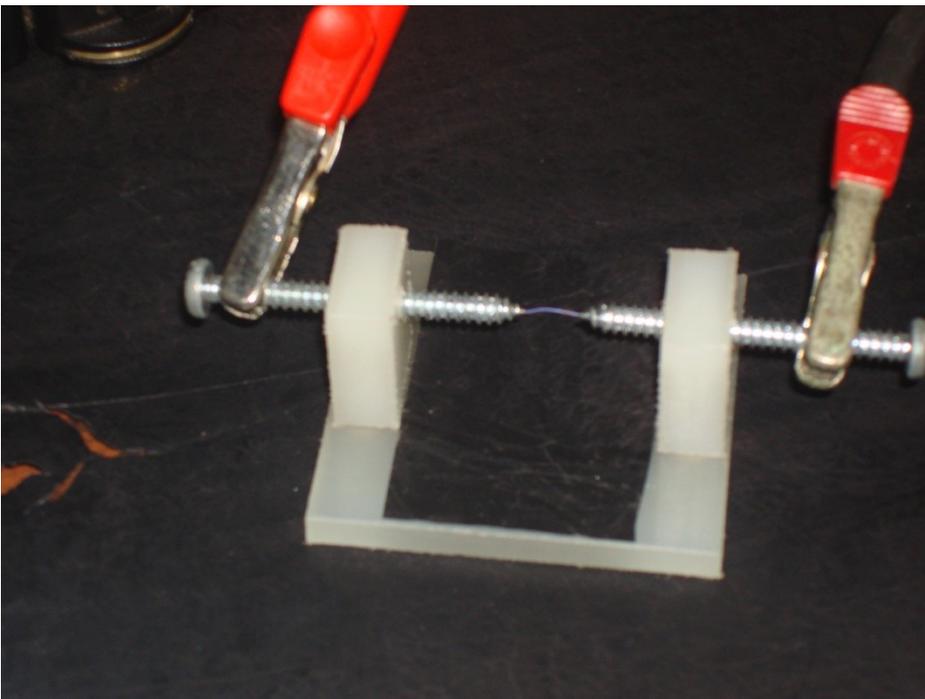


Fig 8: Arco voltaico produzido.



Fig 9: Circuito com a usina.

4) Dificuldades encontradas:

As dificuldades encontradas foram na escolha dos dispositivos para o circuito, pois nenhuma fonte de alta tensão estava disponível para uso e é muito custoso adquirir uma fonte dessas para fins didáticos. Outra questão foi que em simulações a corrente do circuito ultrapassaria 30A, o que poderia causar danos aos aparelhos e possivelmente ao operador. Após a simulação dos circuitos, a maior dificuldade foi encontrar uma fonte de alta tensão para ser utilizada, fonte que foi substituída por uma bobina de carro dentro de um dispositivo faiscador cedido pelo Laboratório de Ensino, possibilitando a produção da faísca. Novamente uma dificuldade surge quando não acontece a indução do circuito externo pela faísca, pois a faísca não é intensa o suficiente para ocorrer indução de uma corrente no arco, e conseqüentemente, sua tensão é insuficiente para ocorrer a ruptura do dielétrico no “gap” do circuito externo. A solução para isso foi um aprimoramento do

Campinas, 07 de Julho de 2010

experimento, utilizando um rádio sintonizado em AM e um circuito de radiofrequência utilizando a bobina do faiscador e um capacitor de capacitância variável em série. Com isso obtivemos interferência a medida que a faísca era produzida.

5) Pesquisa realizada, palavras-chave que foram usadas nome das referências obtidas

As palavras chaves utilizadas para pesquisa foram:

Heinrich Hertz

Oscilador de Hertz

Hertz's Oscillator

A primeira palavra chave foi utilizada para estudar a biografia do autor original do circuito, Heinrich Hertz. A segunda foi usada para procurar o circuito e referências para a montagem em português e a terceira, para encontrar referências em inglês. As referências seguem abaixo e os sites pesquisados com seus textos estarão anexados ao fim deste relatório.

Referências

- 1- http://efisica.if.usp.br/eletricidade/basico/ondas/oscilador_hertz/ (Oscilador de Hertz)
- 2- http://people.seas.harvard.edu/~jones/cscie129/nu_lectures/lecture6/hertz/Hertz_exp.html (Experimentos feitos por Hertz)
- 3- http://en.wikipedia.org/wiki/Heinrich_Hertz (biografia e experimentos de Hertz)
- 4- <http://corrosion-doctors.org/Biographies/HertzBio.htm> (Biografia)
- 5- <http://entrononentro.haaan.com/1888-hertz-demonstra-a-existncia-das-ondas-eletromagneticas/> (Demonstração empírica de existência de ondas eletromagnéticas)
- 6- <http://www.dw-world.de/dw/article/0,2144,678473,00.html> (Reportagem sobre a demonstração empírica de Hertz sobre a existência de ondas eletromagnéticas)

Campinas, 07 de Julho de 2010

- 7- <http://www.rc.unesp.br/igce/fisica/lem/bibliofisicos/hertz.htm> (Biografia)
- 8- http://plato.if.usp.br/~fge0211n/Main_Site/Extras/Extras_files/Ruptura%20diele%CC%81trica.pdf (Ruptura de dielétrico)
- 9- Nussenzveig, H. M. Física Básica – Eletromagnetismo. São Paulo: E. Blucher, 1997- (Demonstração das teorias envolvidas)
- 10- http://macao.communications.museum/por/exhibition/secondfloor/MoreInfo/2_5_2_MorseTelegraph.html (Código Morse)
- 11- Pereira, M.C.V. Efeito Branly: http://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809/F809_sem2_2006/MarthaC_Tamashiro_RF1.pdf (Efeito Branly)

6) Descrição do trabalho

Através do circuito descrito na figura 4, duas esferas (que podem ser substituídas por pontas), separadas por uma determinada distância, estão ligadas a parte secundária de um transformador, que produz uma tensão alternada a partir de oscilações no circuito L-C na parte primária do transformador. A tensão entre as esferas metálicas, e_1 , é suficiente para ionizar o ar e produzir uma descarga oscilante do capacitor formado pelas duas esferas acopladas ao secundário do transformador, fazendo soltar faíscas entre as esferas.

Para detectar as ondas eletromagnéticas geradas pelas descargas oscilatórias, utiliza-se um fio metálico em forma de arco, deixando duas esferas metálicas distantes, nas extremidades do fio.

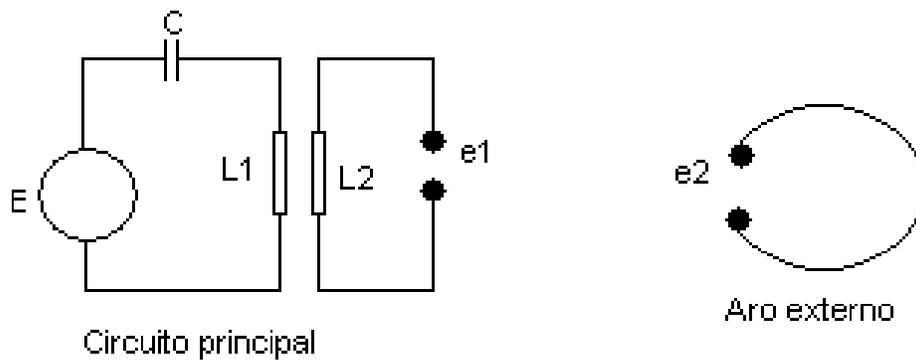


Fig 10: Circuito inicialmente proposto.

Utilizando um aparato faiscador mostrado na figura 2, podemos substituir o circuito principal. Isso é válido, pois seu circuito interno é semelhante ao proposto e produz o mesmo resultado.

Como citado anteriormente, o circuito foi modificado para ocorrer a interferência via radiofrequência, o esquema segue na figura abaixo:

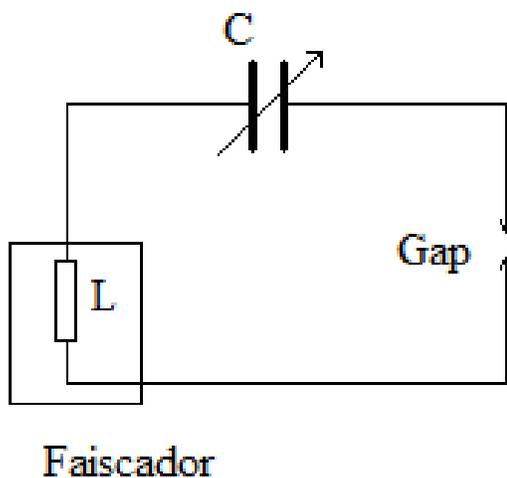


Fig 11: Circuito de radiofrequência

Podemos notar na figura abaixo o circuito montado com o faiscador, capacitor e os contatos da fâisca.



Fig 12: Circuito Final.

O circuito que foi inicialmente proposto utilizando a usina de fogão encontra-se a seguir:

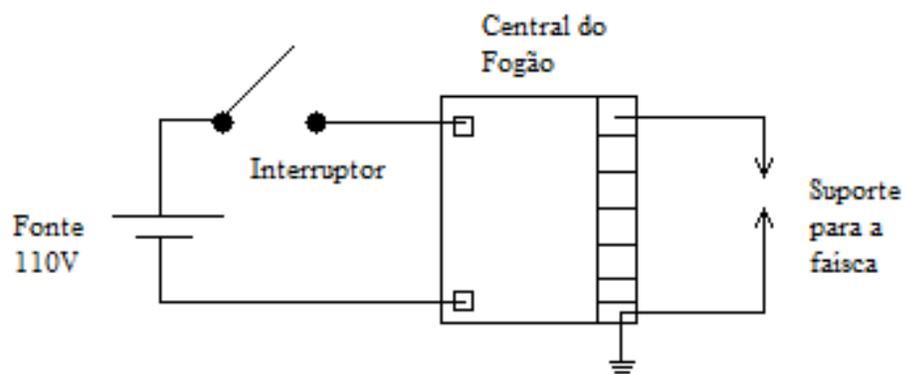


Fig 13: Circuito inicialmente concebido utilizando a central de fogão

Temos a seguir o circuito utilizado, a diferença é que o suporte para a visualização da faísca não é necessário:

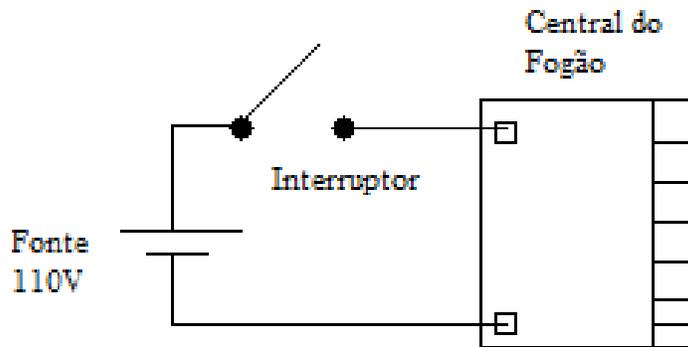


Fig. 14: Circuito efetivamente utilizado.

Apêndice

Neste experimento temos um dipolo elétrico puntiforme oscilante, que é dado por:

$$p(t) = ql = p(t)\hat{z}$$

No oscilador de Hertz: $p(t) = p_0 \text{sen}(wt)$

Podemos calcular a velocidade de propagação da onda:

$$\lambda = \frac{2\pi}{k}$$

onde, λ = comprimento de onda e k = numero de onda

$$v = \frac{1}{T}$$

onde v = freqüência e T =Período

Campinas, 07 de Julho de 2010

Portanto, $v = \lambda \nu$.

Para calcular a frequência angular: $\omega = 2\pi \nu = kv$.

Calculo dos campos elétricos e magnéticos:

Do dipolo puntiforme temos:

$$p(t) = p_0 \sin(\omega t) \quad (1)$$

Lembrando que:

$$j = pv$$

$$\vec{A}(x, t) = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{p(\vec{x}') \vec{v}(\vec{x}', t - \frac{r}{c})}{r} d^3x'$$

$$\Rightarrow \vec{A}(x, t) = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{q}{r} \vec{v}(t - \frac{r}{c}) \quad (2)$$

Lembrando que $\vec{v} = \frac{dl}{dt}$, podemos reescrever (2):

$$\vec{A}(x, t) = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{d}{dt} p(t - \frac{r}{c}); \quad r = |x| \quad (3)$$

como $B = \nabla \times A$ e $\frac{d}{dt} p(t - \frac{r}{c}) = \frac{d}{dt} p(t - \frac{r}{c}) \hat{z}$

temos:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \nabla \left[\frac{\dot{p}(t - \frac{r}{c})}{r} \right] \times \hat{z}; \dot{p} = \frac{dp}{dt}$$

usando a regra da cadeia:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \left[\frac{1}{r^2} \dot{p}(t - \frac{r}{c}) + \frac{1}{rc} \ddot{p}(t - \frac{r}{c}) \right] \times \hat{r} \quad (4)$$

O primeiro termo da eq. (4) está relacionado com a velocidade de propagação da onda. Para r pequeno temos:

$$\vec{B}_1 \approx \frac{\mu_0}{4\pi r^2} \dot{p}(t) \times \hat{r} = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{j(x', t) \times \hat{r}}{r^2} d^3 x' \quad (5)$$

Notemos que a aproximação da eq (5) é semelhante à lei de Biot-Savart, logo a aproximação corresponde à aproximação de correntes quase-estacionárias. Na região mais próxima do dipolo, a contribuição do campo coulombiano cai com $\frac{1}{r^2}$ sendo esta região chamada de ‘zona próxima’.

O segundo termo da eq (4) cai com $\frac{1}{r}$ e é predominante para distâncias maiores:

$$\vec{B}_2(x, t) \approx \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{\ddot{p}(t - \frac{r}{c})}{rc} \times \hat{r}; (r \rightarrow \infty) \quad (6)$$

Esta aproximação chama-se Zona Distante ou Zona de Onda.

Aplicando na eq (4) a condição da eq (1):

$$\dot{p}(t) = wp_0 \cos(\omega t) \Rightarrow \dot{p}(t - \frac{r}{c}) = wp_0 \cos \left[\omega(t - \frac{r}{c}) \right] \Rightarrow \dot{p}(t - \frac{r}{c}) = wp_0 \cos(kr - \omega t)$$

Então,

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \left[\frac{wp_0}{r^2} \cos(kr - wt) - \frac{w^2 p_0}{rc} \sin(kr - wt) \right] \hat{z} \times \hat{r} \quad (7)$$

Portanto,

$r \ll \lambda \Leftrightarrow$ zona próxima

$r \gg \lambda \Leftrightarrow$ zona de onda

Para achar a frequência de sintonização do rádio AM, temos a Indutância (L) do indutor utilizado, no caso a bobina de carro dentro do faiscador e a capacitância do capacitor variável (C), temos a frequência de ressonância definida como:

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (1)$$

E a indutância é constante, definida pela bobina de carro, entretanto por ser um capacitor variável, a capacitância não é constante:

$$C = \epsilon_r \epsilon_0 \frac{A}{d} \quad (2)$$

Onde ϵ_r é a constante dielétrica

ϵ_0 é a constante elétrica

A é a área das placas

e d é a distância entre as placas

Utilizando (1), (2) e o valor de L podemos achar um intervalo de frequência onde haverá interferência no rádio. Como este experimento não possui um filtro, o espectro de frequência é muito amplo podendo a interferência ser detectada em um intervalo da sintonização no rádio.

7) Reproduzir declaração do orientador:

7.1) Comentário do Relatório Parcial

O aluno tem trabalhado de modo satisfatório. A alternativa sugerida de usar o faiscador, que não é mais utilizado no lab.ensino, é adequada pois poderá permitir a visualização do efeito de modo mais rápido, ao menos na etapa de teste.

7.2) Comentário do relatório final

O estudante trabalhou com empenho, iniciativa e dedicação, de modo a resolver os obstáculos surgidos durante o desenvolvimento do projeto. Com isso pode manter o desenvolvimento do projeto num cronograma aceitável durante o semestre. O esquema apresentado permite a visualização do experimento de Hertz num contexto mais atualizado para o estudante de nível médio. Por outro lado, o uso do faiscador (ou a sugestão de substituição por partes compondo uma “fonte blindada” para o experimento) atende também a requisitos de segurança que se deve ter em mente ao propor experimentos didáticos onde possa haver algum risco para o aluno ainda sem formação no assunto.

7.3) Comentário do relatório final 2

Com as alterações sugeridas pelo Prof. Lunazzi, o projeto ficou mais próximo ao cotidiano do aluno de ensino médio, cumprindo assim uma meta implícita na proposta da disciplina. Contudo, reafirmo o comentário anterior, de que a iniciativa do estudante propôs soluções para contornar os problemas apresentados, sempre cumprindo a meta original, de demonstrar os conceitos eletromagnéticos associados ao experimento. De minha parte, sugiro que o estudante tenha a nota máxima pelo empenho e disciplina apresentados ao longo do semestre.

8) Agradecimentos

Gostaria de agradecer a minha orientadora, Profa. Dra. Mônica Alonso Cotta, que me deu o apoio e motivação necessária para o desenvolvimento do experimento. Também, ao Eng. Pedro Raggio que me ajudou no desenvolvimento do circuito, sugestões para as dificuldades encontradas e o empréstimo do faiscador. E por ultimo, mas não menos importante gostaria de agradecer ao Prof. Dr. José Joaquim Lunazzi que aprovou o projeto, fez criticas extremamente construtivas que me fizeram progredir nesta disciplina.

Observação: Retirar o x dos emails.

9) Anexos

A seguir, encontram-se os textos dos sites que foram pesquisados para este trabalho.

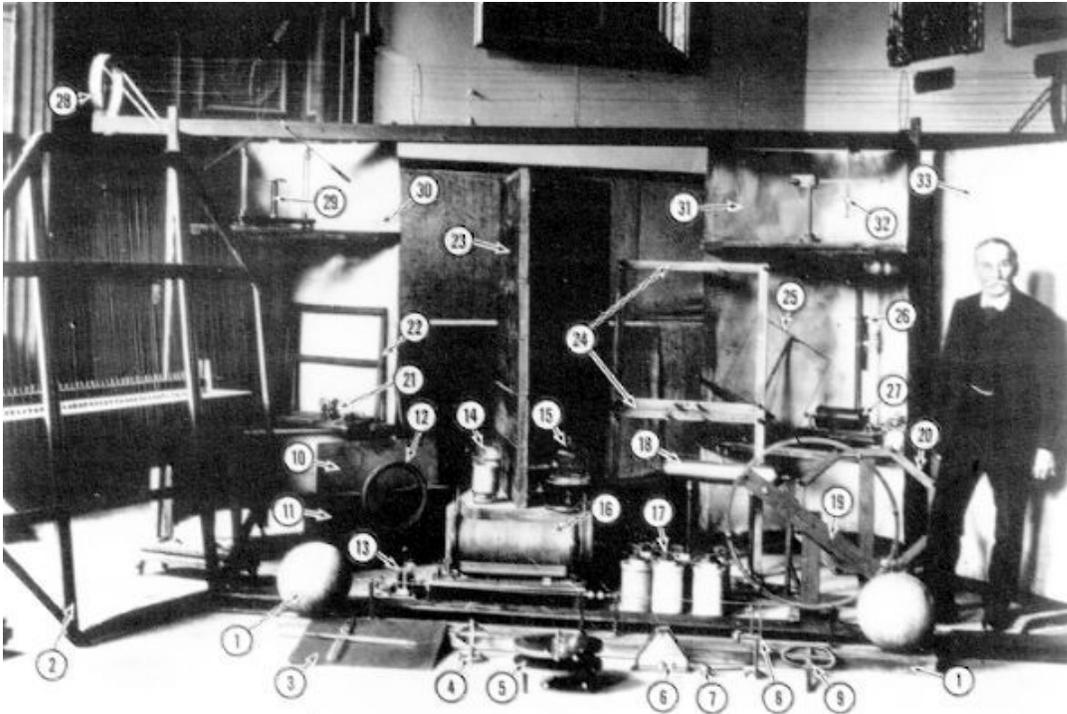
1888: Hertz demonstra a existência das ondas eletromagnéticas

No dia 29 de novembro de 1888, o físico alemão Heinrich Rudolf Hertz conseguiu provar a existência das ondas eletromagnéticas. Suas experiências haviam sido iniciadas um ano antes e foram publicadas em janeiro do ano seguinte.

Por vários dias consecutivos, naquele novembro de 1888, os universitários da Escola Superior Técnica de Karlsruhe deram com a cara na porta no laboratório de física. O jovem professor Heinrich Rudolf Hertz, de 31 anos, estava ocupado com seus experimentos. Mal tinha tempo para comer e dormir.

Em 1865, o matemático inglês James Maxwell havia conseguido provar, no papel, a existência de ondas eletromagnéticas. Só 23 anos mais tarde, Heinrich Hertz, nascido em 1854 como filho de um famoso advogado, conseguiu provar que luz e eletricidade são a mesma coisa, pois as ondas eletromagnéticas podem ser refletidas, quebradas e polarizadas da mesma forma como a luz.

Inicialmente, Hertz, conduziu experiências com um circuito constituído por uma garrafa de Leyden como condensador, uma bobina como indutância e um faiscador. Constatou, então, que a cada faísca que se produzia aparecia uma correspondente muito intensa em uma outra bobina, colocada em frente da primeira. O valor da capacitância era pequeno (a garrafa de Leyden possui pequena capacitância e forte resistência às altas tensões), mas o efeito era notável.



Hertz não abandonou esse campo de pesquisas. Com espírito metódico, continuou suas experiências por cinco anos, utilizando instrumentos sempre mais complexos. O aparelho típico que usava era um oscilador linear (ou dipolo), formado por duas grandes esferas metálicas ligadas por um condutor retilíneo interrompido por um faiscador - constituído por duas esferas metálicas menores. Os dois braços deste oscilador eram ligados aos pólos de uma bobina de Ruhmkorff; quando a bobina gerava uma tensão alta, ocorria uma descarga entre os dois braços do oscilador. Tal descarga era oscilante, e Hertz verificou que as oscilações possuíam uma frequência que dependia, unicamente, das características geométricas do oscilador. Era por isso que as faíscas irradiavam no espaço ondas eletromagnéticas de frequência bem determinada.

Com isso, Hertz demonstrou na prática a existência das ondas eletromagnéticas previstas por Maxwell. Começou, então, a estudar as propriedades dessas ondas. Aos 32 anos descobriu, por meio de experiências extremamente engenhosas, que elas se comportam de maneira inteiramente semelhante às ondas luminosas, fato também previsto na teoria de Maxwell, mas que ainda esperava por uma demonstração experimental.

Escuridão absoluta

Campinas, 07 de Julho de 2010

Por trás das janelas constantemente fechadas da sala de experimentos, ele construiu um transmissor de ondas. No dia 29 de novembro de 1888, na escuridão absoluta, pôde então ver uma faísca microscópica e concluiu que aquilo era eletricidade.

Na sua série de experiências, Hertz determinou a frequência e o tempo de propagação das ondas eletromagnéticas, concluindo que “elas se propagam através do éter, na mesma velocidade da luz, e que as oscilações ocorrem no sentido transversal ao da propagação, como uma onda luminosa, sendo esta um fenômeno magnético”.

Ocupado com suas experiências e completamente dedicado à ciência, Hertz não se preocupou em ganhar dinheiro com a descoberta. Já na distante Bolonha, Guglielmo Marconi, então com 20 anos, leu um relatório de Hertz sobre seu trabalho e teve a genial idéia de aproveitar a descoberta na transmissão de notícias, sem usar fios.

A um triz do telégrafo

Até aí, as informações só podiam ser transmitidas com o auxílio de cabos, isto é, não havia telégrafo para outros continentes, nem navios podiam enviar mensagens de socorro do alto-mar. Marconi montou um laboratório em casa e dois anos depois conseguiu acionar uma campainha a nove metros de distância.

Pouco mais tarde, [Marconi conseguiu transmitir um sinal ao irmão](#), que se encontrava a dois quilômetros. Estava provado que as ondas eletromagnéticas atravessam paredes, montanhas, até a escuridão! Invisíveis e misteriosas!

A partir daí, sucederam-se várias invenções baseadas neste princípio. Em 1901, foi recebida no Canadá uma mensagem enviada da Inglaterra, a 3600 quilômetros de distância. O próprio Hertz, entretanto, não conseguiu mais colher os louros de sua fama, como as ondas batizadas com seu nome. Ele faleceu em 1894, aos 37 anos, em Bonn, vitimado por uma septicemia.

Com textos dos sites: [Deutsche Welle](#) e [Sala de Física](#)

Campinas, 07 de Julho de 2010

Fonte: <http://entrononentro.haaan.com/1888-hertz-demonstra-a-existencia-das-ondas-eletromagneticas/> e <http://www.dw-world.de/dw/article/0,2144,678473,00.html>



O oscilador de Hertz

O primeiro oscilador foi construído em 1879 pelo físico alemão Heinrich Hertz. Consistia em duas esferas metálicas A e B, colocadas a certa distância, de maneira que funcionavam como armaduras de um condensador. A elas eram presos dois fios metálicos que tinham nas outras extremidades as pequenas esferas a e b, mantidas próximas. Em paralelo com as esferas era ligada uma bobina H (fig. 344). As esferas A e B eram ligadas a uma bobina de Rumkhorff. Note-se que o circuito da figura 344 é idêntico ao da figura 336, sendo que agora o gerador é a bobina de Rumkhorff. Quando a bobina de Rumkhorff funciona, estabelece uma diferença de potencial entre A e B, e, portanto, entre a e b. Salta então uma faísca entre a e b, e se fecha o circuito oscilante constituído pelas esferas A e B, e a bobina H. A corrente que passa nesse circuito emite as ondas eletromagnéticas. Depois, a diferença de potencial fornecida pela bobina de Rumkhorff vai diminuindo; a faísca entre a e b se extingue, e o circuito oscilante se abre. Novamente, a bobina de Rumkhorff começa a aumentar a diferença de potencial, e o fenômeno se repete. (Recorde o funcionamento da bobina de Rumkhorff).

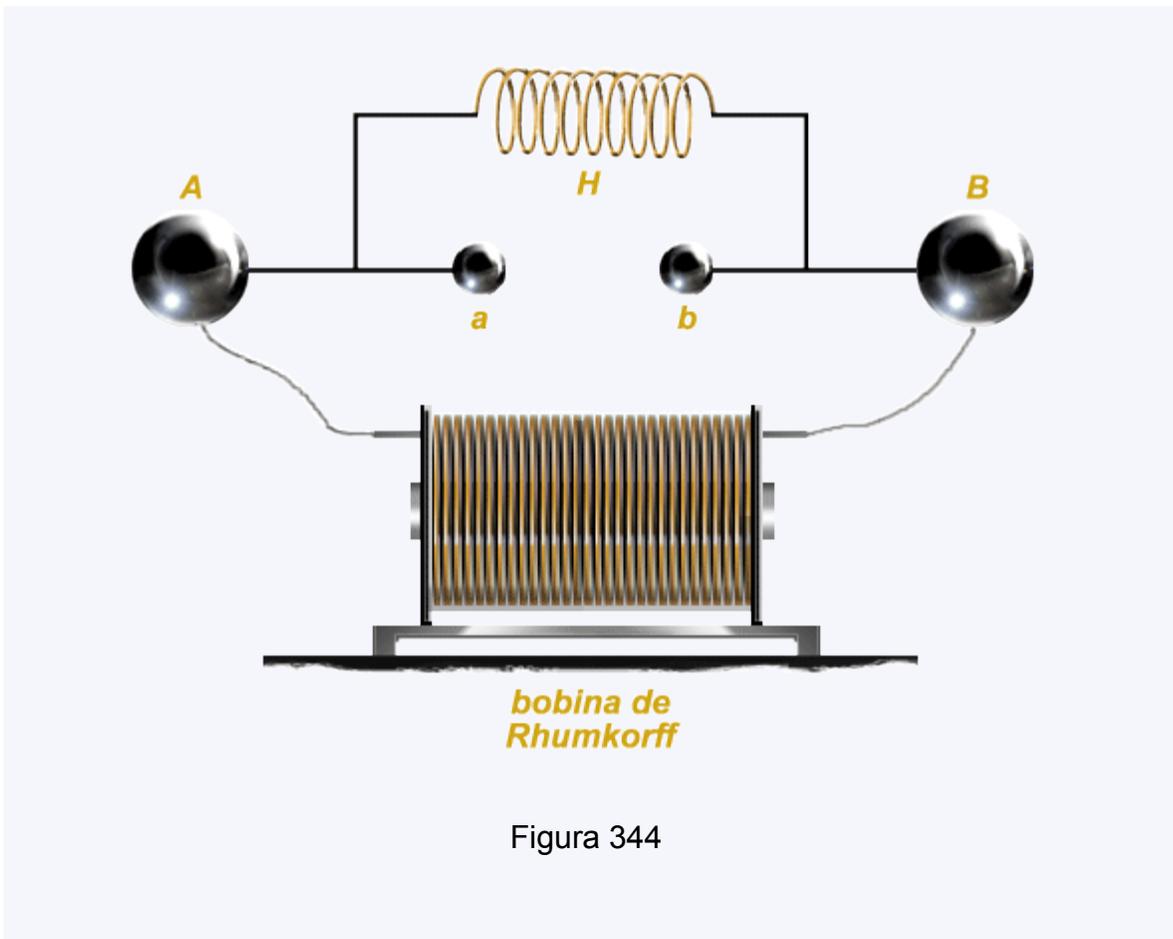


Figura 344

Fonte: http://efisica.if.usp.br/eletricidade/basico/ondas/oscilador_hertz/

Heinrich Rudolf Hertz



Born	February 22, 1857 Hamburg
Died	January 1, 1894 (aged 36) Bonn, Germany
Residence	Germany
Nationality	German
Fields	Physics Electronic Engineering
Institutions	University of Kiel University of Karlsruhe University of Bonn
Alma mater	University of Munich University of Berlin
Doctoral advisor	Hermann von Helmholtz
Known for	Electromagnetic radiation Photoelectric effect
Signature 	

Heinrich Rudolf Hertz (February 22, 1857 – January 1, 1894) was a German physicist who clarified and expanded the electromagnetic theory of light that had been put forth by [Maxwell](#). He was the first to satisfactorily demonstrate the existence of

[electromagnetic waves](#) by building an apparatus to produce and detect [VHF](#) or [UHF radio](#) waves.

- **Biography**

Early years

Hertz was born in [Hamburg, Germany](#), into a prosperous and cultured [Hanseatic](#) family. His father, Gustav Ferdinand Hertz, was a barrister and later a senator. His mother was the former Anna Elisabeth Pfefferkorn. He had three younger brothers and one younger sister. [\[1\]](#)

While studying at the [Gelehrtenschule des Johanneums](#) of Hamburg, he showed an aptitude for sciences as well as languages, learning [Arabic](#) and [Sanskrit](#). He studied sciences and engineering in the German cities of [Dresden](#), [Munich](#) and [Berlin](#), where he studied under [Gustav R. Kirchhoff](#) and [Hermann von Helmholtz](#).

In 1880, Hertz obtained his [PhD](#) from the [University of Berlin](#); and remained for post-doctoral study under Helmholtz.

In 1883, Hertz took a post as a lecturer in theoretical physics at the [University of Kiel](#).

In 1885, Hertz became a full professor at the [University of Karlsruhe](#) where he discovered electromagnetic waves.

Meteorology

Hertz always had a deep interest in [meteorology](#) probably derived from his contacts with [Wilhelm von Bezold](#) (who was Hertz's professor in a laboratory course at the [Munich Polytechnic](#) in the summer of 1878). Hertz, however, did not contribute much to the field himself except some early articles as an assistant to Helmholtz in [Berlin](#), including research on the [evaporation](#) of [liquids](#), a new kind of [hygrometer](#), and a graphical means of determining the properties of moist air when subjected to [adiabatic](#) changes.^[2]

Contact mechanics

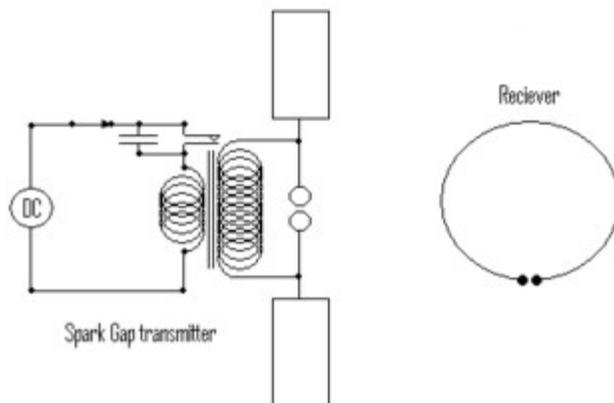
In 1881–1882, Hertz published two articles on what was to become known as the field of [contact mechanics](#). Hertz is well known for his contributions to the field of electrodynamics (*see below*); however, most papers that look into the fundamental nature of contact cite his two papers as a source for some important ideas. [Joseph Valentin Boussinesq](#) published some critically important observations on Hertz's work, nevertheless establishing this work on contact mechanics to be of immense importance. His work basically summarises how two axi-symmetric objects placed in contact will behave under loading, he obtained results based upon the classical theory of elasticity and continuum mechanics. The most significant failure of his theory was the neglect of any nature of adhesion between the two solids, which proves to be important as the materials composing the solids start to assume high elasticity. It was natural to neglect adhesion in that age as there were no experimental methods of testing for it.

To develop his theory Hertz used his observation of elliptical [Newton's rings](#) formed upon placing a glass sphere upon a lens as the basis of assuming that the pressure exerted by the sphere follows an elliptical distribution. He used the formation of Newton's rings again while validating his theory with experiments in calculating the displacement which the sphere has into the lens. K. L. Johnson, K. Kendall and A. D. Roberts (JKR) used this theory as a basis while calculating the theoretical displacement or *indentation depth* in the presence of adhesion in their landmark article "Surface energy and contact of elastic solids" published in 1971 in the Proceedings of the Royal Society (A324, 1558, 301-313). Hertz's theory is recovered from their formulation if the adhesion of the materials is assumed to be zero. Similar to this theory, however using different assumptions, [B. V. Derjaguin](#), V. M. Muller and Y. P. Toporov published another theory in 1975, which came to be known as the DMT theory in the research community, which also recovered Hertz's formulations under the assumption of zero adhesion. This DMT theory proved to be rather premature and needed several revisions before it came to be accepted as another material contact theory in addition to the JKR theory. Both the DMT and the JKR theories form the basis of contact mechanics upon which all transition contact models are based and used in material parameter prediction in Nanoindentation and Atomic Force Microscopy. So Hertz's

research from his days as a lecturer, preceding his great work on electromagnetism, which he himself considered with his characteristic soberness to be trivial, has come down to the age of nanotechnology.

Electromagnetic research

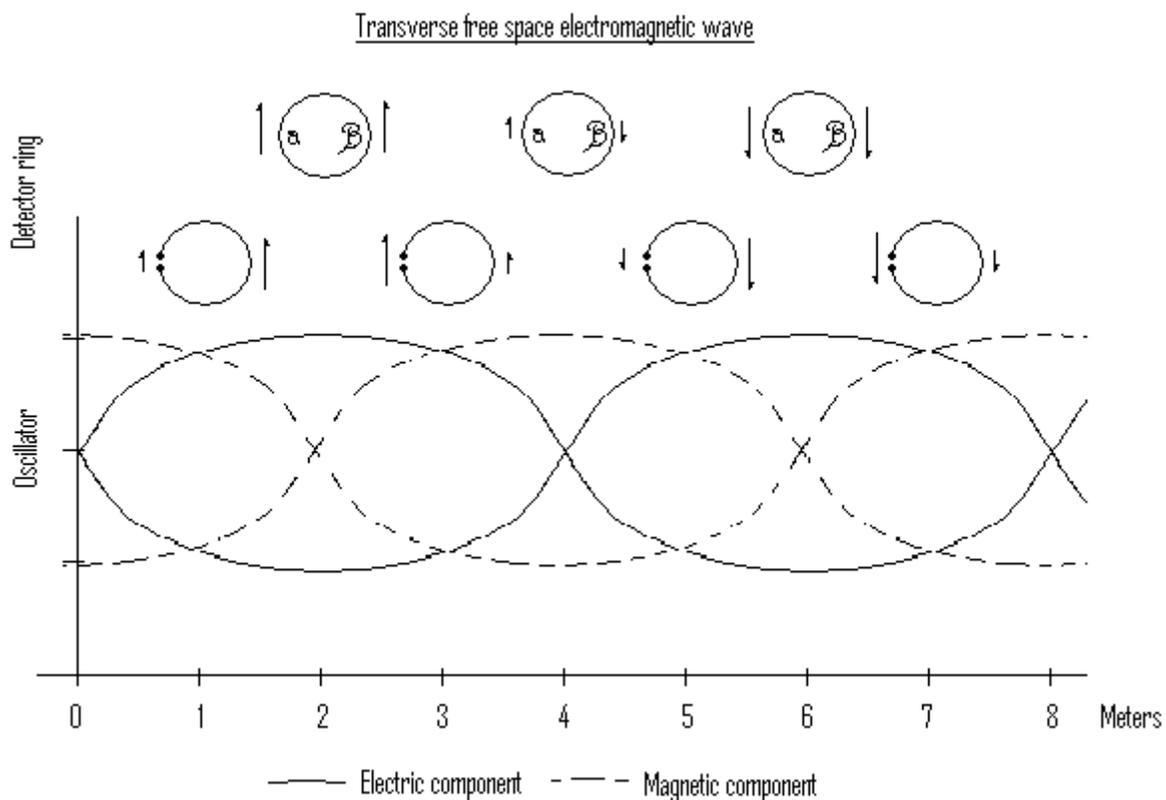
Hertz helped establish the [photoelectric effect](#) (which was later explained by [Albert Einstein](#)) when he noticed that a [charged](#) object loses its charge more readily when illuminated by ultraviolet light. In 1887, he made observations of the photoelectric effect and of the production and reception of electromagnetic (EM) waves, published in the journal [Annalen der Physik](#). His receiver consisted of a coil with a [spark gap](#), whereupon a spark would be seen upon detection of EM waves. He placed the apparatus in a darkened box to see the spark better. He observed that the maximum spark length was reduced when in the box. A glass panel placed between the source of EM waves and the receiver absorbed ultraviolet radiation that assisted the electrons in jumping across the gap.



1887 experimental setup of Hertz's apparatus.

When removed, the spark length would increase. He observed no decrease in spark length when he substituted quartz for glass, as [quartz](#) does not absorb UV radiation. Hertz concluded his months of investigation and reported the results obtained. He did not further pursue investigation of this effect, nor did he make any attempt at explaining how the observed phenomenon was brought about.

Earlier in 1886, Hertz developed the **Hertz antenna** receiver. This is a set of terminals that is not electrically grounded for its operation. He also developed a transmitting type of [dipole antenna](#), which was a center-fed driven element for transmitting [UHF](#) radio waves. These antennas are the simplest practical antennas from a theoretical point of view. In 1887, Hertz experimented with radio waves in his laboratory. These actions followed [Michelson's](#) 1881 experiment (precursor to the 1887 [Michelson-Morley experiment](#)) which did not detect the existence of [aether drift](#), Hertz altered the [Maxwell's equations](#) to take this view into account for electromagnetism. Hertz used a [Ruhmkorff coil](#)-driven spark gap and one meter wire pair as a radiator. Capacity spheres were present at the ends for circuit resonance adjustments. His receiver, a precursor to the dipole antenna, was a simple half-wave dipole antenna for [shortwaves](#).



Through experimentation, he proved that [transverse free space electromagnetic waves](#) can travel over some distance. This had been predicted by [James Clerk Maxwell](#) and [Michael Faraday](#). With his apparatus configuration, the electric and magnetic fields would radiate away from the wires as transverse waves. Hertz had positioned the oscillator about 12

meters from a [zinc](#) reflecting plate to produce [standing waves](#). Each wave was about 4 meters. Using the ring detector, he recorded how the [magnitude](#) and wave's component direction vary. Hertz measured Maxwell's waves and demonstrated that the velocity of radio waves was equal to the velocity of light. The [electric field intensity](#) and [polarity](#) was also measured by Hertz. (Hertz, 1887, 1888).

The [Hertzian cone](#) was first described by Hertz as a type of wave-front propagation through various [media](#). His experiments expanded the field of electromagnetic transmission and his apparatus was developed further by others in the [radio](#). Hertz also found that radio waves could be transmitted through different types of materials, and were reflected by others, leading in the distant future to [radar](#).

Hertz did not realize the practical importance of his experiments. He stated that,

"It's of no use whatsoever[...] this is just an experiment that proves Maestro Maxwell was right - we just have these mysterious electromagnetic waves that we cannot see with the naked eye. But they are there." ^[3]

Asked about the ramifications of his discoveries, Hertz replied,

"Nothing, I guess." ^[3]

His discoveries would later be more fully understood by others and be part of the new "[wireless age](#)". In bulk, Hertz' experiments explain [reflection](#), [refraction](#), [polarization](#), [interference](#), and [velocity](#) of [electric waves](#).

In 1892, Hertz began experimenting and demonstrated that cathode rays could penetrate very thin metal foil (such as [aluminium](#)). [Philipp Lenard](#), a student of Heinrich Hertz, further researched this "[ray effect](#)". He developed a version of the cathode tube and studied the penetration by X-rays of various materials. Philipp Lenard, though, did not realize that he was producing X-rays. [Hermann von Helmholtz](#) formulated mathematical equations for X-rays. He postulated a dispersion theory before [Röntgen](#) made his discovery and announcement. It was formed on the basis of the electromagnetic theory of light (*Wiedmann's Annalen*, Vol. XLVIII). However, he did not work with actual X-rays.

Death at age 36

In 1892, an infection was diagnosed (after a bout of severe [migraines](#)) and Hertz underwent some operations to correct the illness. He died of [Wegener's granulomatosis](#) at the age of 36 in [Bonn](#), Germany in 1894, and was buried in Ohlsdorf, Hamburg at the Jewish cemetery.^[4]

Hertz's wife, Elizabeth Hertz (maiden name: Elizabeth Doll), did not remarry. Heinrich Hertz left two daughters, Joanna and Mathilde. Subsequently, all three women left Germany in the 1930s to England, after the rise of [Adolf Hitler](#). Charles Susskind interviewed Mathilde Hertz in the 1960s and he later published a book on Heinrich Hertz. Heinrich Hertz's daughters never married and he does not have any descendants, according to the book by Susskind.

Legacy

His nephew [Gustav Ludwig Hertz](#) was a [Nobel Prize](#) winner, and Gustav's son [Carl Hellmuth Hertz](#) invented [medical ultrasonography](#).

The SI unit [hertz](#) (Hz) was established in his honor by the IEC in 1930 for [frequency](#), a measurement of the number of times that a repeated event occurs per unit of time (also called "cycles per sec" (cps)). It was adopted by the CGPM (Conférence générale des poids et mesures) in 1964.

In 1969 ([East Germany](#)), there was cast a [Heinrich Hertz memorial medal](#). The [IEEE Heinrich Hertz Medal](#), established in 1987, is "*for outstanding achievements in Hertzian waves [...] presented annually to an individual for achievements which are theoretical or experimental in nature*".

A [crater](#) that lies on the [far side](#) of the [Moon](#), just behind the eastern limb, is [named in his honor](#). The Hertz market for radioelectronics products in [Nizhny Novgorod](#), Russia, is

named after him. The [Heinrich-Hertz-Turm](#) radio telecommunication tower in Hamburg is named after the city's famous son.

Nazi revisionism

Although Hertz would not have considered himself Jewish, his "Jewish" portrait was removed by the [Nazis](#) from its prominent position of honor in Hamburg's City Hall (*Rathaus*) because of his partly "[Jewish](#) ancestry." Hertz was a Lutheran; and although his father's family had been Jewish,^[1] his father had been converted to Catholicism before marrying.^[3] The painting has since been returned to public display.^[5]

Honors

Hertz is honored by Japan with a membership in the [Order of the Sacred Treasure](#), which has multiple layers of honor for prominent people, including scientists.^[6]

Hertz Widely Renowned

Heinrich Hertz was honored by a number of countries around the world in their postage issues and in Post World War II times has appeared on various German stamp issues as well.



[Heinric Hertz](#)



[Heinric Hertz](#)



[Heinric Hertz ~ James Maxwell](#)

References

- Hertz, H.R. "Ueber sehr schnelle elektrische Schwingungen", *Annalen der Physik*, vol. 267, no. 7, p. 421-448, May 1887. ([WILEY InterScience](#))
- Hertz, H.R. "Ueber einen Einfluss des ultravioletten Lichtes auf die elektrische Entladung", *Annalen der Physik*, vol. 267, no. 8, p. 983-1000, June, 1887. ([WILEY InterScience](#))

- Hertz, H.R. "Ueber die Einwirkung einer geradlinigen electrischen Schwingung auf eine benachbarte Strombahn", *Annalen der Physik*, vol. 270, no. 5, p. 155-170, March, 1888. ([WILEY InterScience](#))
- Hertz, H.R. "Ueber die Ausbreitungsgeschwindigkeit der electrodynamischen Wirkungen", *Annalen der Physik*, vol. 270, no. 7, p. 551-569, May, 1888. ([WILEY InterScience](#))
- Hertz, Heinrich Rudolph. (1893). *Electric waves: being researches on the propagation of electric action with finite velocity through space* (translated by David Evans Jones). Ithica, New York: [Cornell University Library](#). 10-[ISBN 1-429-74036-1](#); 13-[ISBN 978-1-429-74036-4](#)
- IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) Global History Network, IEEE History Center: "[Heinrich Hertz](#)" (retrieved 27 Jan 2007)
- Jenkins, John D. "[The Discovery of Radio Waves - 1888; Heinrich Rudolf Hertz \(1847-1894\)](#)" (retrieved 27 Jan 2008)
- Koertge, Noretta. (2007). *Dictionary of Scientific Biography*. New York: [Thomson-Gale](#). 10-[ISBN 0-684-31320-0](#); 13-[ISBN 978-0-684-31320-7](#)
- Naughton, Russell. "[Heinrich Rudolph \(alt: Rudolf\) Hertz, Dr : 1857 - 1894](#)" (retrieved 27 Jan 2008)
- Roberge, Pierre R. "[Heinrich Rudolph Hertz, 1857-1894](#)" (retrieved 27 Jan 2008)
- Robertson, Struan. "[Buildings Integral to the Former Life and/or Persecution of Jews in Hamburg](#)" (retrieved 27 Jan 2008)
- Robertson, Struan. "[Heinrich Hertz, 1857-1894](#)" (retrieved 27 Jan 2007)

Fonte: http://en.wikipedia.org/wiki/Heinrich_Hertz



Heinrich Rudolf Hertz nasceu em Hamburgo, em 22 de fevereiro de 1857, filho de renomado advogado. O jovem Hertz não foi nenhum menino prodígio; era um jovem como muitos outros, um pouco mais sério, talvez. Durante seus estudos preliminares, em um colégio da cidade natal, seu maior interesse se voltava para as oficinas da escola, onde passava a maior parte do tempo livre. Ali trabalhava no torno, construindo e montando os mais diferentes mecanismos, sobretudo instrumentos ópticos. Esse gosto característico pela construção se manteve durante toda sua vida, mesmo quando se dedicou à intensa pesquisa física: sempre construiu os instrumentos e aparelhos de que necessitava para seu trabalho.

Foi o interesse pelas construções mecânicas que, ao término do colégio, o orientou para uma faculdade de engenharia. Frequentou-a por dois anos, mas o desejo de realizar pesquisa pura se tornou mais forte que sua inclinação para a engenharia. Passou, então, em 1878, aos estudos de física, na Universidade de Berlim.

Sua seriedade e empenho nos estudos logo foram notados por von Helmholtz, que era seu professor. E quando este propôs aos seus alunos, em 1880, um trabalho versando sobre uma questão de eletrodinâmica, de escolha individual, Hertz apresentou uma pesquisa original, intitulada "Sobre a Energia Cinética da Eletricidade", que foi merecidamente a vencedora.

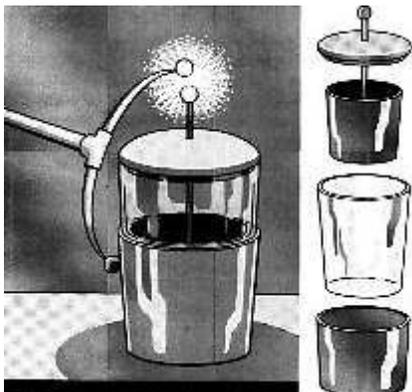
Ainda nesse ano de 1880, também ano de sua diplomação, Hertz tornou-se assistente de von Helmholtz e, durante os três anos que passou no instituto berlinense, ocupou-se com pesquisas experimentais sobre a elasticidade dos gases e sobre as descargas elétricas através destes. Em 1883, obteve a docência na Universidade de Kiel, onde começou a estudar a eletrodinâmica de Maxwell. Este havia previsto teoricamente

a existência das ondas eletromagnéticas, mas o fato ainda não havia recebido confirmação experimental.

Os estudos de eletrodinâmica o fascinavam, e ele imaginava como poderia reproduzir praticamente os fenômenos tão claros na teoria. Uma de suas descobertas fundamentais foi realizada diante dos estudantes, durante uma aula demonstrativa, no outono de 1886. Nessa ocasião, Hertz encontrava-se em Karlsruhe, onde era professor da Escola Politécnica desde o ano anterior. Nesse mesmo ano casou-se com Elizabeth Doll, filha de um professor de Karlsruhe, e com ela teve duas filhas.

Durante uma aula, na qual se utilizava, para demonstração, de duas bobinas ligadas a faiscadores, notou que, enquanto numa das bobinas deflagrava uma faísca, na segunda era deflagrada outra. Esta, porém, era muito pequena, pouco luminosa, e seu ruído era coberto pelo da primeira, muito mais forte. Foi desse modo que Hertz, quase por acaso, descobriu o importante fenômeno das centelhas secundárias.

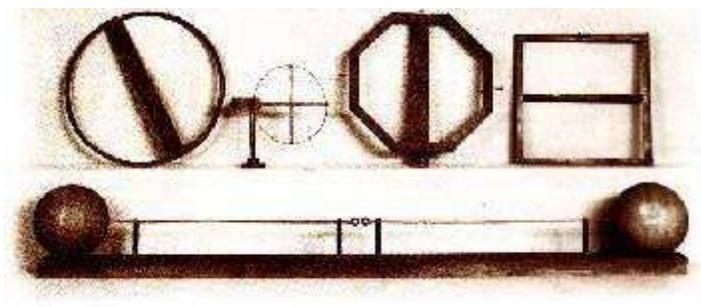
O jovem cientista compreendeu que aquelas faíscas elétricas eram consequência de fenômenos eletrodinâmicos que se processavam nas proximidades de circuitos oscilantes com capacitância e auto-indução mínimas. Para comprovar suas idéias, repetiu, seguidamente, as experiências. Logo percebeu que tinha diante de si um campo novo: o da criação das ondas eletromagnéticas e sua propagação a distância.



(Garrafa de Leyden)

Inicialmente, conduziu experiências com um circuito constituído por uma garrafa de Leyden como condensador, uma bobina como indutância e um faiscador. Constatou, então, que a cada faísca que se produzia aparecia uma correspondente muito intensa em uma outra bobina, colocada em frente da primeira. O valor da capacitância era pequeno (a garrafa de Leyden possui pequena capacitância e forte resistência às altas tensões),

mas o efeito era notável.



(Oscilador linear)

Hertz não abandonou esse campo de pesquisas. Com espírito metódico, continuou suas experiências por cinco anos, utilizando instrumentos sempre mais complexos. O aparelho típico que usava era um oscilador linear (ou dipolo), formado por duas grandes esferas metálicas ligadas por um condutor retilíneo interrompido por um faiscador - constituído por duas esferas metálicas menores. Os dois braços deste oscilador eram ligados aos pólos de uma bobina de Ruhmkorff; quando a bobina gerava uma tensão alta, ocorria uma descarga entre os dois braços do oscilador. Tal descarga era oscilante, e Hertz verificou que as oscilações possuíam uma freqüência que dependia, unicamente, das características geométricas do oscilador. Era por isso que as faíscas irradiavam no espaço ondas eletromagnéticas de freqüência bem determinada.

Com isso, Hertz demonstrou na prática a existência das ondas eletromagnéticas previstas por Maxwell. Começou, então, a estudar as propriedades dessas ondas. Aos 32 anos descobriu, por meio de experiências extremamente engenhosas, que elas se comportam de maneira inteiramente semelhante às ondas luminosas - fato também previsto na teoria de Maxwell, mas que ainda esperava por uma demonstração experimental.

Voltou sua atenção à propagação das ondas eletromagnéticas. Concluiu, assim, que sua velocidade é a mesma da luz, e que sua propagação no vácuo é retilínea. O comprimento de onda, porém, é maior do que o das ondas luminosas.

Daí, passou a uma série de experiências ópticas. Entre estas, as primeiras foram sobre reflexão em superfícies metálicas, como ocorre também com as ondas luminosas. Entretanto, Hertz verificou que, no caso das ondas eletromagnéticas, a reflexão especular ocorre também quando as superfícies são opticamente

ásperas. Isso porque as ondas eletromagnéticas possuem comprimento muitíssimo maior que o da luz.

Outra célebre experiência foi a realizada com o prisma de piche, com o qual demonstrou a refração das ondas eletromagnéticas. Atravessando um prisma de piche, as ondas mudam de direção, como ocorre no caso das ondas luminosas ao atravessarem um prisma de vidro. O cientista provou, finalmente, que as ondas oscilam em um plano que contém a direção de propagação. Para demonstrar este fato, era necessário provar, primeiramente, a possibilidade de polarizar ondas eletromagnéticas. Para isso, Hertz idealizou e construiu um dispositivo dotado de uma grade de fios metálicos, que, quando atingido por ondas eletromagnéticas, as polarizava.

Embora ciente da desconfiança com que o mundo científico acolhia as hipóteses de Maxwell, Hertz apresentou os resultados irrefutáveis de seus trabalhos ao Congresso da Sociedade Alemã para o Progresso da Ciência, em 1888. Eles punham abaixo os velhos conceitos de ação a distância, assim como as tentativas dos mecanicistas em reduzir a eletrodinâmica a uma dinâmica do tipo newtoniano, explicada por movimentos de corpos invisíveis num meio hipotético, o éter.

Os expressivos resultados de suas experiências, revelando e estudando as características das ondas eletromagnéticas, fizeram com que elas fossem batizadas com o nome de *ondas hertzianas*.

Realizado o ciclo de experiências e concluído um capítulo de suas pesquisas, os interesses de Hertz voltaram-se para uma visão mais ampla da física e para problemas universais.

Um de seus trabalhos foi tentar explicar toda a mecânica por meio do que chamou o "princípio da trajetória retilínea".

Apesar de Hertz não ter tido sucesso nessa empresa, uma versão atualizada de seu princípio encontrou posteriormente aplicação na teoria einsteiniana da gravitação.

Ainda que cumulado de honrarias, Hertz continuou levando uma vida afastada do convívio social, dedicando-se somente à ciência. Baixo, delicado, de fronte espaçosa e barba ruiva, refletia no aspecto e na expressão bondade e grande modéstia. A seriedade e maturidade que possuía, acima do que seria de se esperar de sua idade, fizeram com que alguém o definisse como um "velho nato".

Nos primeiros meses de 1893, Hertz adoeceu e foi operado de um tumor na orelha. Passou uma temporada convalescendo em Santa Margherita Ligure (Itália), depois do que, parecendo restabelecido, regressou ao laboratório. Em dezembro desse ano, porém, foi obrigado outra vez a interromper toda atividade.

Em 1º de janeiro de 1894, antes de completar 37 anos, Hertz morria, deixando uma obra que permitiu um progresso nunca antes imaginado no campo das comunicações a grande distância.

Poucos meses após sua morte, vieram a público os três volumes de "Os Princípios da Mecânica", a última obra que Hertz enviara a seu editor de Leipzig. Sentindo que lhe restava pouco tempo de vida, confiara a tarefa de cuidar da publicação ao seu melhor assistente, P. Lenard.

Fonte: <http://www.rc.unesp.br/igce/fisica/lem/bibliofisicos/hertz.htm>

Telégrafo de Morse

O Código Morse foi o primeiro estágio das comunicações digitais sendo que todos os Caracteres estão codificados como Pontos e Traços. Utiliza cinco elementos definidos no tempo: Ponto (·), Traço (–), Intervalo Curto (entre cada Carácter), Intervalo Médio (entre as Palavras) e Intervalo Longo (entre as Frases). A Tabela 1 mostra a Tabela do Código Morse.

A . _	B _ ...	C _ . _ .	D _ ..
E .	F .. _ .	G _ _ .	H

I..	J. _ _ _ _	K _ . _	L . _ _ ..
M _ _ _	N _ .	O _ _ _ _	P . _ _ .
Q _ _ . _	R . _ .	S ...	T _
U .. _	V ... _	W . _ _ _	X _ .. _
Y . _ _ _	Z _ _ ..	1 . _ _ _ _	2 .. _ _ _
3 ... _ _	4 _	5	6 _
7 _ _ ...	8 _ _ _ _ ..	9 _ _ _ _ .	0 _ _ _ _ _

Tabela 1: Tabela do Código Morse

É claro que o Código Morse é também uma forma de código binário, uma vez que se baseia apenas em dois estados: LIGADO e DESLIGADO.

Fonte:

http://macao.communications.museum/por/exhibition/secondfloor/MoreInfo/2_5_2_MorseTelegraph.html