OSCILLAÇÕES
ELÉCTRICAS

I
Óptica das oscillações

POR

A. A. M. VELLADO ALVEZ PEREIRA DA FONSECA

LICENCIADO EM PHILOSOPHIA NATURAL

COIMBRA

TYPOGRAPHIA FRANÇA AMADO

—

1897

DISSERTAÇÃO INAUGURAL

PARA

O ACTO DE CONCLUSÕES MAGNAS

NA

Faculdade de Philosophia Natural

DA

UNIVERSIDADE DE COÍMBRA

O interesse, que o estudo das Oscillações eléctricas tem despertado no mundo scientífico, justifica de sobejo a escolha do assumpto para o nosso trabalho.

A deficiéncia dos meios de que dispozemos faz-se sentir em mais do que um ponto. Assim, por exemplo, a maior parte das citações dos *Annaes de Wiedemann* sam reproducção das que encontrámos em livros e em memórias, por nos ter sido impossivel consultar a collecção completa daquella revista.

A vastidão do assumpto não permitte, que delle tratemos duma só assentada.

Estudos futuros nos permittirám desenvolver e completar os que óra apenas deixamos

iniciados pela comparação dos phenómenos ópticos e eléctricos.

A estes se seguirám os estudos dos effeitos produzidos pelas correntes alternativas, alguns tam interessantes, como sam os effeitos luminosos e physiológicos, e o estudo das theorias de von Helmholtz, Maxwell, Hertz, etc.

I

ÓPTICA DAS OSCILLAÇÕES

Introducção

Imaginemos um condensador de capacidade C, cujas armaduras estejam a uma differença de potencial V, e sejam R e L a resisténcia e o coefficiente da inducção propria do circuito de descarga.

Demonstra-se pelo cálculo, que sendo

$$R > \sqrt{\frac{4\,L}{C}}\,,$$

a descarga é contínua, sempre no mesmo sentido, e que a intensidade da corrente se eleva rapidamente a um máximo para em seguida decrescer até zero.

Se pelo contrário fôr

$$R < \sqrt{\frac{4\,L}{C}}\,,$$

a corrente de descarga oscilla periòdicamente entre valores positivos e negativos, decres-

cendo ràpidamente. As oscillações sam isóchronas e a sua amplitude decresce segundo os termos de uma progressão geométrica.

Tambem pelo cálculo se deduz, que a duração de uma oscillação é dada pela fórmula

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{CL} - \frac{R^2}{4L^2}}},$$

que para uma resisténcia muito pequena em relação a

$$2\sqrt{\frac{L}{C}}$$

se reduz, como Lord Kelvin demonstrou, a

$$T = 2\pi\sqrt{CL}.$$

A demonstração experimental da natureza oscillatória destas descargas póde fazer-se reflectindo a faísca num systema de espelhos animado de um movimento rápido e uniforme em torno de um eixo. Em vez de um traço contínuo, que pela rapidez do phenómeno se observa ordinariamente, vê-se que a descarga é constituída por uma série de faíscas, representadas por outros tantos traços luminosos reflectidos nos espelhos.

Para o mesmo fim se póde aproveitar o facto bem conhecido do transporte de matéria nos dois sentidos, quando se faz saltar uma faísca electrica de forte tensão entre dois conductores de differente natureza.

Póde dar-se idéa do phenómeno, de que se trata, por meio de um facto análogo, que se produz no escoamento dos líquidos.

Imaginemos um reservatório dividido em dois por uma parede elástica, onde haja líquido a alturas differentes. A parede elástica está evidentemente curva, tendo a convexidade voltada para o lado em que a pressão é menor. Se ligarmos os dois compartimentos por um tubo longo e estreito, que produza pelo attrito uma notavel resisténcia, o líquido correrá regularmente, e a parede elástica tomará lentamente a fórma plana.

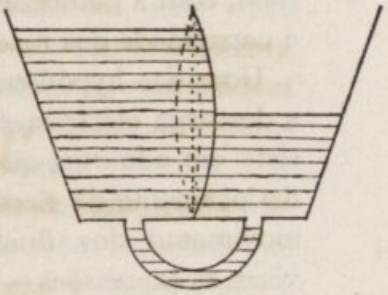

Fig. 1

Se porém fizermos communicar os dois reservatórios por um tubo curto e grosso, fig. 1, produzir-se-ha um movimento rápido do líquido, e a parede elástica, depois de haver

passado pela posição plana, encurvar-se-ha para o lado opposto, de modo que o líquido voltará em parte para o compartimento donde saíu.

Esta série de oscillações, cuja amplitude vae diminuíndo progressivamente até se annullar, continuará por um certo tempo, que varía com o diámetro e comprimento do tubo, com a natureza das suas paredes, com a capacidade dos reservatórios, etc.

Uma das hypótheses, que tentam explicar a descarga eléctrica entre conductores, consiste em admittir, que entre elles se dá um deslocamento de electricidade comparavel ao movimento dos fluidos nos tubos. D'aqui vêem as expressões—*corrente eléctrica, fluido eléctrico,* etc., tiradas da theoria dynámica dos fluidos.

Apezar das analogias, o exame mais demorado das propriedades das correntes eléctricas mostra quanto ellas differem do fluxo da matéria ponderal.

Assim, um fluido circulando num tubo não produz effeito algum no exterior; uma corrente eléctrica, aquecendo os conductores por onde passa, produz um campo magnético nas suas visinhanças, modifica as proprieda-

des ópticas dos corpos, e produz phenómenos d'inducção nos conductores deslocados no seu campo d'acção.

Uma corrente fluida póde ser alternativa como nos tubos sonoros, onde as ondas sonoras se propagam em vibrações longitudinaes.

Estas correntes poderiam comparar-se ás correntes eléctricas alternativas, mas entre ellas ha differenças não só nos phenómenos, que se passam no meio ambiente, mas tambem naquelles, que se dam nos próprios conductores por onde ellas passam.

As ondas sonoras têem deslocamentos máximos segundo o eixo do tubo, enquanto que nas correntes alternativas a intensidade é máxima á superficie do conductor.

Uma corrente eléctrica deve ser considerada como centro de uma impulsão, que se communica ao meio ambiente, e que, por ser susceptivel de propagar-se no vazio, deve ser transmittida pelo ether.

Uma descarga alternativa origina ondas eléctricas, que se propagam no meio ambiente com uma velocidade egual á da luz, e que sòmente differem das ondas luminosas no período de vibração, e portanto no cumprimento d'onda.

As experiéncias de Hertz e dos seus continuadores sam uma confirmação brilhante das hypótheses de Faraday e de Kirchhoff, precisadas por Maxwell, relativamente á funcção do meio através do qual se transmitte a energia eléctrica.

A descoberta da propagação das acções electromagnéticas em ondas semelhantes ás da luz, tem uma grande importáncia, pois estabelece íntimas relações entre a electricidade, a luz e o calor, e levar-nos-ha sem dúvida, ao perfeito conhecimento das leis, que regem estes agentes physicos.

Entretanto até agóra sòmente se tem conseguido levantar a ponta do véu, que encobre o mechanismo da transmissão da energia eléctrica. Sabe-se, que ella se propaga integralmente nos dieléctricos, enquanto que os conductores a absorvem no todo ou em parte, transformando-a principalmente em effeitos caloríficos, mas o phenómeno da corrente eléctrica continúa sem explicação mesmo na sua fórma mais símplez, o regimen permanente.

No estudo, que nos propômos fazer, das oscillações eléctricas pômos um pouco de parte a ordem chronológica, para seguir um

caminho mais racional; estudaremos os factos e em seguida a theoria.

As analogias experimentaes entre os phenómenos ópticos e os produzidos pelas ondas luminosas, constituem em especial o assumpto do presente trabalho.

CAPITULO I

MODO DE OBTER OSCILLAÇÕES

Mais pelo interesse histórico, do que pelo valor scientífico actual, recordaremos algumas tentativas de verificações experimentaes da theoria de Von Helmholtz e de sir William Thomson, feitas antes de Hertz.

1. Experiéncias de Feddersen (1863). Feddersen (1) ligou a um eixo, que fazia cem rotações por segundo, dois espelhos cóncavos reünidos pela parte posterior; dois pares de espheras ligadas com as armaduras de uma bateria de Leyde descarregavam-se diante destes espelhos, que projectavam uma imagem real da faísca sobre uma lámina de vidro despolido, ou sobre uma pellícula de collódio impressionavel (2).

(1) Feddersen, *Pogg. Ann.*, tom. CIII, pag. 69; tom. CVIII, pag. 497; tom. CXII, pag. 452; tom. CXVI, pag. 132.
Ann. de Chim. et de Phys., 3me série, tom. LXIX, pag. 178.
(2) *Ann. de Chim. et de Phys.*, vol. cit., Est. VII, fig. 1 a 20.

A faísca produzia-se parallelamente ao eixo, e portanto estando o espelho em movimento dava uma imagem alongada perpendicularmente ao mesmo eixo.

Se a descarga era contínua, observava-se um único traço luminoso; sendo oscillante, a imagem era formada por uma série de traços luminosos separados por traços escuros.

Empregando uma bateria de dez garrafas, com 2006 $^{cm\,2}$ de superficie cada uma, descarregando-se através de um fio de cobre de 5 ^{mm},26 de comprimento e 1 ^{mm},35 de diámetro, obteve Feddersen oscillações, cujo período era de 0 ^{s},00000132.

Augmentando gradualmente a resisténcia, o que se conseguia intercalando no circuito tubos com um millímetro de diámetro contendo acido sulfúrico diluído, de densidade egual a 1,25, obteve Feddersen descargas contínuas, e depois descargas intermittentes para grandes valores da resisténcia, como por exemplo a de cordas molhadas.

Feddersen verificou por este processo, que o período das oscillações é proporcional á raíz quadrada da capacidade do condensador.

A influéncia do coefficiente de inducção própria não poude ser reconhecida nestas experiéncias, o que não admira, se attendermos a que Feddersen empregou conductores com centenas de metros de comprido, pendurados em uma parede, com a qual formavam um verdadeiro condensador, cuja capacidade se não podia desprezar quando comparada com a do condensador principal.

Estas experiéncias foram repetidas em 1890 por

J. Trowbridge e W. C. Sabine (1), que estudaram a descarga de um condensador de lámina d'ar em vez da de uma garrafa de Leyde. Deste modo reconheceram, que a duração das oscillações varía periodicamente, periodicidade que comparáram ao phenómeno magnético da hysteresis. A periodicidade é principalmente notavel, quando entre a capacidade do condensador e a duração das oscillações eléctricas existe uma relação conveniente.

2. Experiéncias de Paalzow (1863). Paalzow (2). fazendo atravessar pela corrente de descarga do condensador um tubo de Geissler, disposto parallelamente aos polos de um electromagnete, pôs tambem em evidéncia a natureza oscillatória da descarga.

Para pequenas resisténcias, os dois eléctrodos apresentam uma auréola azul; a acção do electromagnete desdobra o traço da descarga, e, produzindo effeitos contrários sobre as duas partes, que o constituem, faz-lhe tomar a fórma de um S. Esta figura inverte-se com a mudança do sentido da corrente, e, se as inversões forem rápidas, observa-se finalmente no tubo um 8 luminoso.

(1) J. Trowbridge and W. C. Sabine, *On electrical oscillations in air, Phil. Mag.*, 5th series, tom. xxx, pag. 323.

Journ. de Phys., 2me série, tom. x, pag. 147.

(2) Paalzow, *Pogg. Ann.*, tom. CXII, pag. 567, tom. CXVIII, pag. 178, 357.

Empregando resisténcias consideraveis a auréola só apparece num dos pólos, e o magnete não decompõe a descarga.

3. Experiéncias de Mouton (1876) (1). Foram feitas com um carrete (2) de inducção; o phenómeno oscillatório era produzido no fio induzido pela ruptura da corrente no inductor.

Um systema de rodas (disjunctor de Brunner) (3) permitte num dado momento abrir o inductor, e em seguida ligar as extremidades do fio induzido aos dois pares de quadrantes de um electrómetro de Thomson.

Fazendo variar o tempo da abertura do inductor conhecia-se o estado das duas extremidades do induzido em differentes phases do período.

Estas experiéncias não servem para verificar as leis da periodicidade da descarga, porquanto o próprio carrete forma um condensador, que não satisfaz ás condições exigidas pela theoria.

Mais tarde P. Janet (4) propôs-se estudar o modo como varía com o tempo a intensidade das

(1) *Étude expérimental sur les phenoménes d'induction électro-dynamiques,* Thése de doctorat.

(2) Empregaremos a palavra *carrete* como synónymo de bobina.

(3) A descripção deste apparelho encontra-se no *Cours de physique* de Jamin, tom. IV, 2me part., 3me liv., 1888, pag. 240.

(4) P. Janet, *C. R.,* tom. CXV, pag. 875-1286.
Journ. de Phys., 3me serie, tom. II, pag. 337.

correntes alternativas, empregando para isso o apparelho de Mouton um pouco modificado.

De pouca importancia sam os resultados destas experiéncias; dellas resultou porém um novo méthodo para a determinação dos coefficientes de inducção própria, cujos resultados concordam segundo o auctor com os fornecidos pelo processo de lord Rayleigh.

4. Experiéncias de Hertz (1879-1893) (1). Apezar de serem muito importantes as experiéncias de Hertz, esse enorme talento morto aos trinta e sete annos de edade em 1 de janeiro de 1894, e cuja perda não só a Allemanha mas todo o mundo scientifico ainda hoje deplora, sómente indicaremos neste capítulo as suas disposições experimentaes, resultantes dos estudos iniciados em 1879, quando a Academia das Sciéncias de Berlím pôs a prémio o seguinte problema: *Estabelecer experimentalmente qualquer relação entre as forças electromagneticas e a polarização dieléctrica dos isoladores.*

Em 1887 Hertz descreveu pela primeira vêz um apparelho a que deu o nome de *excitador*, destinado a produzir oscillações eléctricas muito rápidas.

Compõe-se essencialmente de duas capacidades de fórma espherica, A e A' (fig. 2), prolongadas por um conductor, ao meio do qual ha uma solu-

(1) Hertz, *Wiedmanns Annalen*, tom. XXXI, pag. 421. *Electric Waves.*, transl. by D. E. Jones.

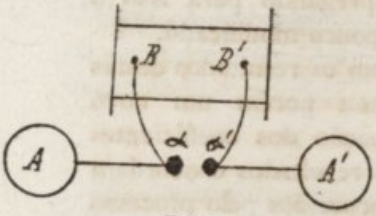

Fig. 2

ção de continuïdade, limitada por duas pequenas espheras α e α', cuja distancia se póde fazer variar.

A cada uma destas espheras liga-se uma das extremidades B e B' do fio induzido de um carrete de inducção. As duas metades do excitador carregam-se uma positiva e outra negativamente, até que, sendo sufficiente a differença de potencial, salte entre ellas uma faísca.

A corrente, que se produz, é devida não só á neutralização das electricidades das duas espheras, mas tambem á corrente de descarga do carrete, que desempenha o duplo papel de carregar o excitador e de fazer desapparecer rapidamente a força contra-electro-motriz, que se oppõe ao restabelecimento do equilíbrio.

A forte faísca, que salta entre as espheras α e α', estabelece entre ellas durante um intervallo de tempo muito pequeno uma ligação de pouca resisténcia, através da qual a electricidade oscilla, como se o excitador estivesse isolado do carrete.

O tempo, que dura cada oscillação, calculado pela fórmula

$$T = 2\pi\sqrt{CL},$$

suppondo de 15^{cm} o diámetro das espheras A e A', e de $1^{m},50$ o comprimento do fio, que as separa, é de $1,77 \times 10^{-8}$ segundos.

E' conveniente obter oscillações tam rápidas para reduzir quanto possivel o comprimento d'onda. Com effeito, sendo a velocidade de propagação dos ondas elcétricas egual á das ondas luminosas, isto é 300.000 chilómetros, se o período fôr egual a uma millésima de segundo, a fórmula $\lambda = V\ T$ dá para comprimento d'onda 300 chilómetros; para que este comprimenro se reduza a três metros, é facil de vêr, que seriam necessárias vibrações, cujo período não excedesse uma centésima millionésima do segundo.

Nas primeiras experiéncias, Hertz serviu-se de um carrete de inducção, formando com as extremidades do fio induzido um interruptor de faíscas. Uma das extremidades deste interruptor ligava-se a um rectángulo conductor interrompido num dos lados em A B (fig. 3). A esphera A carrega-se primeiro, B em seguida, e, apezar do pouco tempo que a etectricidade gasta em percorrer o rectángulo, a differença de potencial é sufficiente para que a faísca salte entre as duas espheras.

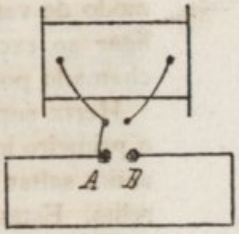

Fig. 3

Hertz achou que o phenómeno depende da propria faísca do carrete, que podemos chamar faísca primária, reservando o nome de secundária para a que salta entre as espheras A e B.

Se a faísca primária salta entre duas pontas, entre uma ponta e um plano, ou entre uma ponta e uma esphera, as secundárias sam mais fracas.

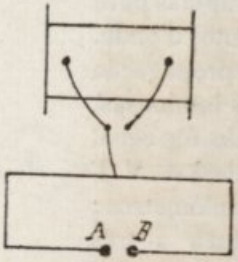

Fig. 4

Hertz empregou tambem a disposição indicada na fig. 4, reünindo uma das extremidades do fio induzido ao meio do lado do rectángulo opposto àquelle em que está o interruptor.

Neste caso, a corrente levando o mesmo tempo a percorrer as duas partes do rectángulo, o potencial deve ser egual em A e B, onde não devem saltar faíscas. A experiencia confirma este modo de ver. O ponto do rectángulo, que se deve ligar ao excitador para obter este resultado, foi chamado por Hertz *ponto nullo.*

Hertz supprimiu depois a communicação entre o primeiro interruptor e o rectángulo, vendo ainda assim saltar faíscas entre as espheras deste apparelho. Estava descoberto um instrumento, que permitte explorar o campo das descargas oscillatórias.

A experiéncia mostra, que ha um tamanho do rectángulo para o qual a faísca é máxima; é o comprimento para o qual o tempo, que a onda gasta em percorrer o fio, é egual á duração duma oscillação símplez do vibrador.

Neste caso a impulsão augmenta com cada oscillação, e o rectángulo actúa como os resonadores acústicos. D'aqui o nome de *resonadores,* que se dá aos apparelhos, que servem para explorar o campo das correntes oscillatórias.

Funccionando bem o excitador, não é indispensavel o emprego de resonadores, porquanto se

pódem fazer saltar faíscas entre quaesquer pedaços de metal existentes na sala da experiéncia, como por exemplo entre chaves, moédas, tubos de canalizações, etc.

Devemos notar, que na producção de oscillações rápidas por meio do apparelho descripto actuam influéncias complexas, umas determinadas, outras desconhecidas e quasi caprichosas. Com alguma práctica consegue-se saber pelo exame da faísca primária, se a secundária se produzirá ou não.

Provou-se nas experiéncias, que a faísca secundária depende não só da distáncia entre as espheras do excitador, do estado da sua superficie e das dimensões do carrete de inducção, mas que é principalmente influenciada pela côr da luz com que se illumina o apparelho, e pelo estado hygrométrico do ar.

Para dar ideia de influéncias notaveis não explicadas citaremos apenas o facto de fazer saltar a faísca, que até ahi sem motivo conhecido se não produzia, soprando levemente nas espheras de descarga.

5. Influéncia da luz. Durante as suas experiéncias sobre oscillações eléctricas Hertz (1) descobriu por acaso em 1887, que as faíscas secundárias sam favorecidas pela approximação das que saltam entre os polos de um carrete de Ruhmkorff.

(1) Hertz, *On an effect of ultra-violet light upon the electric discharge. Electric Waves,* transl. by D. E. Jones, London and New-York Macmillan and CO.—1893, pag. 63. *Wied. Ann.*, tom. xxx, pag. 983.

Estes phenómenos tinham já sido observados por Nodon, que em 26 de junho de 1885 depositou na Academia das Sciéncias de París uma communicação cerrada, em que se estabelecia com rigor a existéncia de alguns phenómenos deste género. Assim Nodon observou, que, expondo á luz um disco de metal bem isolado em communicação com um electrómetro, elle se elctriza positivamente se estava no estado neutro, ou que a carga diminue, se se achava electrizado negativamente; a acção é tanto mais sensivel quanto mais abundante é a luz em raios de curto período, isto é em radiações ultravioletes. A experiéncia é principalmente notavel, quando se emprega um arco eléctrico produzido entre pontas de alumínio ou de zinco. A acção é nulla, quando a luz atravessa láminas de vidro ou de mica; o quartzo é indifferente.

Na producção de oscillações reconheceu Hertz, que a acção das duas faíscas era recíproca, isto é, que tanto influe a faísca primária sobre o comprimento da secundária, como esta no comprimento daquella.

A acção da faísca activa irradía em todas as direcções em linha recta, concordando em tudo com as leis da propagação da luz.

Imaginemos collocados verticalmente os eixos de ambas as faíscas, e introduza-se pouco a pouco entre ellas uma lámina vertical; a acção da faísca activa será interrompida subitamente, quando a lámina tomar uma posição definida tal que, mirando o bordo da lámina do logar da faísca secundária, a faísca activa esteja nessa posição occulta pelo diaphragma.

Introduzindo primeiro a lámina entre as duas faíscas, e retirando-a depois lentamente, a faísca secundária reapparece, quando do sítio, onde ella salta, se torna visivel a primária, ao lado do bordo da lámina.

Interpondo ás duas faíscas uma lámina furada, vê-se, que a acção sómente se transmitte, quando a faísca activa se póde observar do sítio occupado pela secundária; empregando várias láminas furadas, a faísca secundária sómente se produz quando a luz da faísca activa, pela concordáncia de todos os buracos, póde incidir nas espheras da secundária.

Collocando um pequeno disco em qualquer posição defronte da faísca activa, acha-se, deslocando a faísca secundária, que o disco annulla a sua acção precisamente no espaço onde projecta sombra. Esta interrupção não é sómente produzida por corpos extranhos, mas até mesmo pela sombra das espheras da faísca secundária, como se demonstra collocando o eixo desta faísca perpendicularmente ao da faísca activa, o que interrompe a acção instantàneamente.

De differentes maneiras se comportam os diversos corpos em presença da acção da faísca activa. A maior parte dos sólidos, mas não todos, sam opacos para estas radiações.

Segundo Hertz, os metaes mesmo reduzidos a láminas delgadas, bem como a paraffina, resina, ebonite e borracha, sam opacos; o mesmo diremos de toda a espécie de vidros, corados ou brancos, polidos ou despolidos, porcellana, madeira, cartão,

papel, marfim, coiro, ágata e principalmente da mica, opaca mesmo na delgadissima espessura das mais finas láminas de clivagem.

Os corpos crystallizados comportam-se de várias maneiras; uns como o sulfato de cobre, o topázio e a amethysta, sam opacos; outros, como por exemplo o assucar crystallizado, o alumen, a calcite e a halite, transmittem a acção, diminuindo-lhe a intensidade; a selenite e o crystal de rocha sam completamente transparentes, quando em pequena espessura.

Hertz determinou a transparéncia dos differentes corpos, collocando a faísca secundária, quando tinha o comprimento máximo, a alguns centímetros da faísca activa; introduzindo entre ellas o corpo em experiéncia, a faísca secundária ou não desapparecia, e neste caso a transparéncia era perfeita, ou deixava de saltar, e o corpo era opaco.

Para determinar o grau de opacidade, approximavam-se os conductores até saltar novamente a faísca secundária, e junctava-se á lámina já existente uma outra de um corpo opaco; se a faísca desapparece novamente o corpo em experiéncia é alguma coisa transparente, se a faísca não soffre alteração, conclue-se que o corpo é opaco.

A influéncia dos corpos interpostos augmenta com a espessura, mas em geral, mesmo aquelles que sam semi-transparentes, exercem já a sua acção quando em láminas delgadas.

Do mesmo modo os líquidos sam uns transparentes outros opacos.

A agua é transparente sendo insensivel a acção exercida por uma camada de cinco centímetros de espessura; o acido sulfúrico, o alcool e o ether sam tambem transparentes quando em camadas finas.

Os acidos chlorhydrico e azótico, e o amoníaco sam semi-transparentes.

A paraffina fundida, o petróleo, o sulfureto de carbono, e as soluções de sulfureto de ammónio, ou fortemente coradas taes como as de fuchsina e permanganato de potássio, sam quasi opacas.

As soluções salinas comportam-se tambem diversamente.

Nas experiencias de Hertz diluíam-se gotta a gotta as soluções saturadas em um vaso de um centímetro de espessura contendo agua destillada.

Poucas, ou uma só gotta das soluções de alguns saes, taes como nitrato de mercúrio, hyposulfito de sódio, brometo e iodeto potássio, sam sufficientes para extinguir a faísca secundária. As soluções dos saes de ferro e cobre produzem a mesma acção, ainda antes de se poder observar qualquer coloração no líquido interposto ás faíscas.

As soluções de sal amoníaco, sulfato de zinco e sal commum (1) só em grandes quantidades exercem acção sensivel.

Os sulfatos de sódio, potássio e magnésio sam transparentes mesmo em soluções concentradas.

(1) Hertz chama a attenção para o facto realmente curioso de resultar das suas experiéncias, que as soluções concentradas de sal commum têem um poder absorvente superior ao das soluções concentradas de halite.

Resulta das experiéncias, que a maior parte dos gazes transmitte a acção, mesmo quando se opera com camadas espessas.

Entre as transparéncias do ar, hydrogénio e anhydrido carbónico não ha differença sensivel, ao passo que a introducção de uma camada de óxydo de carbono com um centímetro de espessura é sufficiente para extinguir a faísca secundádaria; acção análoga é produzida pelos vapores de ácido azotoso.

Os gazes e vapores còrados, taes como o chloro, bromo e iode, absorvem parcialmente as radiações, mas a sua acção não é proporcional á opacidade; um tubo contendo vapor de bromo em quantidade sufficiente para que a luz da faísca primária fosse apenas perceptivel, quando observada através deste vapor, não interrompia a faísca secundária, diminuíndo-lhe apenas o comprimento.

A intensidade da acção augmenta quando se rarefaz o ar em torno da faísca secundária, o que Hertz verificou fazendo-a saltar debaixo da campánula de uma bomba pneumática. Uma lámina de quartzo engastada na campánula permittia que a acção da faísca primária se exercesse na secundária.

Nem todas as partes da faísca primária participam egualmente da acção, que é mais sensivel nas proximidades dos polos, principalmente do negativo. Com effeito encobrindo o ánodo, tendo a faísca um ou dois centímetros, é insensivel a diminuïção do comprimento da faísca secundária, que pelo contrário quasi se annulla, quando o cáthodo é encoberto por um diaphragma.

E. Wiedmann e H. Ebert (1) demonstráram, pouco tempo depois destas experiéncias d'Hertz, que a acção da luz sòmente affecta a superficie do polo negativo.

A acção da faísca primária reflecte-se nas superficies polidas, seguindo as leis da reflexão da luz. Introduzindo entre as duas faíscas uma folha de papelão atravessado por um cylindro de vidro, cuja superficie interior constituía um espelho, a faísca secundária sòmente saltava quando através do cylindro recebia luz da primária, e notou-se que a acção era mais enérgica do que quando o espelho se não empregava. Esta differença mostra claramente a acção da parede do cylindro.

Passando do ar para um meio sólido transparente, a acção da faísca primária refracta-se como a luz, mas mais energicamente.

Introduzindo entre o cylindro e a faísca secundária um prisma de quartzo, vê-se, que apezar da sua transparéncia, a faísca secundária se interrompe immediatamente, para só apparecer em certas posições, quando o apparelho se desloca para a base do prisma.

Mirando o tubo através do prisma, do ponto em que a acção é máxima, não se exergam nem o interior do tubo nem a faísca primária; para que esta se possa vêr é necessário deslocar bastante o olho na direcção do ponto préviamente occupado pela faísca secundária. Hertz verificou assim, que a acção da faísca primária se achava

(1) *Wied., Ann.*, tom. XXXIII, pág. 241.

localizada na região ultraviolete do espectro, o que em grande parte é confirmado pela opacidade do vidro e da mica, que sam sòmente transparentes para as radiações luminosas, e pela transparéncia da agua e do quartzo, que se deixam atravessar pelas radiações ultravioletes.

A supposição de que a acção da faísca primária sobre a secundária é devida á acção da luz, é aínda confirmada pela possibilidade de obter o mesmo effeito empregando várias fontes luminosas, embora elle seja mais enérgico quando a luz é produzida pela faísca de um carrete de inducção.

Imaginemos um carrete de inducção entre cujos polos salte a faísca; affastando-os sufficientemente para que a distáncia explosiva seja excedida, vêr-se-ha que a faísca reapparece quando delles se approxime a chamma de uma vella. Esta acção, que pode ser attribuída ao aquecimento do ar, demonstra-se que é devida a radiações de certo período por ser interrompida por uma pequena palheta de mica, ao passo que não é alterada pela interposição de uma lámina grande de quartzo.

As chammas do gaz, madeira, benzina, etc. produzem o mesmo effeito.

As chammas incolores do álcool e do bico de Bunsen sam tambem activas, o que concorda com a observação feita na chamma das velas, em que a parte inferior e menos luminosa é mais activa do que a superior.

A chamma do hydrogénio, bem como a luz da platina aquecida ao rubro-branco, do phósphoro,

sódio, ou potássio inflammados sam completamente inactivas.

A luz do magnésio e a luz Drumond têem uma acção pouco enérgica, parecendo mesmo, que nesta última o effeito é principalmente devido á luz do gaz inflammado.

A acção da luz solár não poude ser bem apreciada por Hertz, que attribue os effeitos obtidos á elevação de temperatura produzida pela concentração da luz por lentes de quartzo ou de vidro, empregadas nestas experiéncias.

De todas as origens luminosas a que tem uma acção mais enérgica é sem dúvida o arco de incandescéncia. Esta luz presta-se á demonstração de que a parte violete menos luminosa é a mais enérgica, isolando os differentes fascículos de radiações por meio de um diaphragma fendido.

O fascículo assim limitado, pode fazer-se reflectir ou refractar e presta-se admiravelmente para o estudo da transparéncia dos differentes corpos.

A. Stoletow (1) fez tambem várias experiéncias no intuito de reconhecer a influéncia da luz sobre os phenómenos eléctricos.

Operando no ar, á pressão ordinária, empregou dois discos metállicos parallelos, dispostos verticalmente em frente de um arco de incandescéncia. O disco mais próximo da origem luminosa é formado por uma rede de fios metállicos através de cujas malhas se illuminava o outro disco massiço.

(1) A. Stoletow, *C. R.*, tom. CVI, pag. 1149, 1593, tom. CVII pag. 91, CVIII pag. 1241.

Journal de Physique, 2me serie, tom. IX, pag. 468 e 535.

Ligava-se a rede ao pólo positivo de uma pilha, e o prato ao pólo negativo, ao mesmo tempo que no circuito, interrompido por uma camada d'ar, se intercalava um galvanómetro de Thomson.

Desde que este systema é illuminado pelo arco eléctrico, o galvanómetro soffre um desvio permanente, voltando a occupar a posição primitiva sòmente quando entre a fonte luminosa e os pratos se interpõe um corpo opaco; a interposição de uma lámina de quartzo enfraquece levemente a corrente.

Invertendo os polos da pilha, o desvio do galvanómetro é insignificante (1).

Este apparelho de Stoletow foi modificado de maneira a poder estudar-se as correntes actinoeléctricas nos differentes gazes e vapores, debaixo de pressões variaveis.

O novo apparelho consiste numa caixa cylíndrica de vidro, coberta com gomma laca, fechada em um dos lados por uma lámina de quartzo, e no outro por uma peça de metál em que se move um parafuso mierométrico. Este parafuso faz deslocar uma chapa de latão prateado, que constítue a armadura negativa. A positiva á constituída pelo quartzo, que é prateado na face interna, e riscado á láia das redes de diffracção.

Com esta disposição achou Stoletow, que, como Hertz o previra, a acção é mais activa nos gazes rarefeitos, sendo máxima quando a pressão é egual a 3 ou 4 millímetros de mercúrio.

(1) Esta observação é contradictada pelo professor A. Righi, *C. R.*, tom. CVI, pag. 1349.

Os raios de pequeno comprimento d'onda ($a < 295.10^{-6}$ mm) sam os únicos, que intervêem no phenómeno; a acção do arco eléctrico augmenta sensivelmente quando a faísca se faz saltar entre pontas de alumínio ou em geral entre pontas dos metaes mais eléctro-positivos da série de Volta.

A condição essencial do phenómeno é a absorpção das radiações pela superficie contínua; uma camada d'água sobre a superficie do eléctrodo negativo annulla por completo a acção, ao passo que uma solução de fuchsina a augmenta na relação de 1 para 1,5, a de violete de methylo de 1 para 2,5 e a de verde de methylo de 1 para mais de 3, em relação á superficie metállica não alterada.

Mas ao fim de certo tempo todas estas superficies soffrem um *cançasso*, quando se prolonga a acção da luz do arco.

Bichat e Blondlot (1) modificáram estas disposições substituíndo ao eléctrodo negativo uma lámina líquida, obtida pelo escoamento de uma camada d'água á superficie de uma lámina de vidro quasi vertical.

Illuminando esta superficie, através da rede metállica, o galvanómetro não soffre o menor desvio.

Com o fim de evitar o erro, que podia provir do movimento do líquido, foi esta experiéncia repetida illuminando através da rede metállica

(1) Bichat et Blondlot, *C. R.*, tom. CVI, pag. 1349.

uma porção de agua contida numa cuveta. O resultado foi o mesmo.

Suppondo que o desapparecimento do phenómeno, quando a lámina d'agua substitue a lámina metállica, podia provir da differença entre as propriedades absorventes dos dois corpos, Bichat e Blondlot repetiram as primitivas experiéncias de Stoletow, interpondo no trajecto das radiações uma lámina d'agua corrente, o que em nada affecta o desvio do galvanómetro. D'aqui se conclue ser completa a transparéncia da agua para as radiações efficazes, e que estas radiações não sam as caloríficas, pois que a lámina d'agua absorve mais de metade do calor incidente.

Borgman, substituíndo a rede metállica por um disco furado animado de um movimento rápido de rotação, demonstrou, que a acção da luz não é instantánea, e que a duração da illuminação representa um papel importante na producção do phenómeno.

Illuminando o botão de um electrómetro de folhas d'oiro com raios ultravioletes, a carga perde-se lentamente e as folhas cahem pouco a pouco.

Este phenómeno descoberto por Hallwachs (1), que o suppôs particular ás cargas negativas, tem tambem logar, como demonstrou Branly (2) quando o electrómetro se acha carregado positivamente.

(1) Hallwachs, *Wied. Ann.*, tom. XXXIII, pag. 241, tom. XXXV, pag. 209.

(2) Branly, *Seances de la Societé française de physique*, 3 de julho de 1891.

Fundando-se na propriedade dos raios ultravioletes de produzirem electricidade quando incidem sobre algumas substáncias sensiveis, têem-se construído alguns modelos de pilhas, como por exemplo a descripta pelo professor George Minchin (1).

Fazendo a theoria dos phenómenos actinoeléctricos, principalmente na explicação da descarga dos corpos electrizados, tem-se supposto, que esta acção é principalmente devida á propriedade que têem os raios ultravioletes de pulverizarem algumas substáncias, cujas partículas ao separarem-se da superficie levariam consigo a electricidade.

Lenard e Wolf (2), expondo á acção da luz ultraviolete uma folha fina d'oiro, viram que a superficie illuminada se tornára rugosa.

Para demonstrar directamente a existéncia do pó metállico empregáram o processo de Aitken e von Helmholtz, que permitte pela condensação de um vapor determinar a existéncia de pequenissimas porções de poeiras em um espaço limitado.

Lenard e Wolf encerraram a chapa metállica, em communicação com um electrómetro e com uma pilha, em uma caixa fechada na parte anterior por uma parede de zinco, onde se achava engastada uma lente de quartzo. Um tubo penetrando na caixa pela parte inferior permittia a introducção do vapor, que era illuminado e observado por

(1) *Revue Générale des Sciences*, tom. 1, pag. 339.
(2) *Revue Générale des Sciences*, tom. 1, pag. 695.

algumas janellas convenientemente dispostas nas paredes da caixa.

A lámina metállica era illuminada pela luz de um arco de incandescéncia situado em frente da lente de quartzo.

Alguns metaes, particularmente o cobre, apresentam uma pulverização pronunciada, mesmo quando estam no estado neutro; outros, como o zinco e chumbo, sam sòmente atacados quando electrizados negativamente.

Empregando láminas de pequenas dimensões era possivel seguir as partículas metállicas, que abandonam normalmente a superficie illuminada, para se precipitarem nos pontos obscuros da mesma lámina.

A velocidade da descarga e a quantidade de poeiras sam proporcionaes.

Esta hypóthese não é comtudo sufficiente para explicar todos os phenómenos actinoeléctricos. Por outro lado a acção dos raios X, que têem a propriedade de descarregar os corpos electrizados, não só quando nelles incidem, mas tambem quando apenas cortam as linhas de força do campo em que se acham, leva a crer, que além do phenómeno de convecção se produz pela acção d'estas radiações uma verdadeira ionização do gaz em que o corpo está mergulhado.

Esta hypóthese é em parte confirmada pelas experiéncias de Arrhenius (1), que achou, que

(1) *Wied. Ann.*, tom. XXXII, pag. 545, e XXXIII, pag. 638.

alguns gazes se tornam conductores, quando illuminados.

6. Experiéncias de Lodge (1). O professor Oliver Lodge, servindo-se de condensadores, realizou algumas experiéncias no género das de Hertz.

Ligando os dois ramos de um excitador por um fio de cobre coberto de seda, dobrado muitas vezes sobre si mesmo, vêem-se saltar faíscas não só nos pontos de ligação, mas tambem em todos aquelles em que os anneis de fio se cruzam, quando com o instrumento assim arranjado se descarrega uma garrafa ou bateria de Leyde.

Ligando uma das armaduras de uma garrafa de Leyde, a interior por exemplo, com um dos polos de uma máchina de Holtz, estando a outra armadura em communicação com o segundo polo por meio de um fio conductor muito comprido, cada vez que salta a faísca entre os polos da máchina, vêem-se egualmente saltar faíscas entre as armaduras do condensador, como se a garrafa trasbordasse.

Lodge construíu tambem um oscillador, que consiste essencialmente numa esphera collocada entre os botões de duas garrafas de Leyde, electricamente ligadas aos pólos de um poderoso carrete de Rhumkorff. As faíscas, que saltam entre a esphera e as garrafas, carregam e descarregam

(1) Lodge, *Modern views of electricity*. London, 1892. *The work of Hertz and some of his successors*, 2ª edition.

alternativamente aquelle conductor; as oscillações, que se produzem, excitam ondulações, que se propagam no ambiente. As garrafas pódem conservar-se isoladas ou com as armaduras exteriores em communicação.

O primitivo resonador de Lodge era constituído por um conductor de fórma analoga á do excitador, em communicação com o sólo, donde se tiravam faíscas com a ponta de um canivete que, delle se approximava com a mão.

Mais tarde este resonador foi substituído por uma série de seis cylindros de cobre de 40 centímetros de comprido, e com 14, 13, 12, 11, 10 e 9 centímetros de diámetro, cada um dos quaes entra em vibração quando impressionado por ondulações de determinado comprimento d'onda.

A este apparelho deu Lodge o nome de *retina eléctrica*.

Com uma lente dieléctrica de resina ou paraffina situada em frente deste apparelho constitue-se o *olho eléctrico*.

7. Experiéncias de Righi (1). Hertz, e os physicos que repetiram as suas experiéncias, não conseguiram obter ondas eléctricas com menos de 66 centímetros de comprimento, comprimento d'onda

(1) A. Righi, *Sulle oscillazioni elettriche á piccola lunghezza d'onda e sul loro impiego nella produzione di fenomeni analoghi ai principali fenomeni dell'ottica.*

L'ottica delle oscillazioni elettriche, Bologna, 1897.

Journal de Physique, 3me serie, tom. v, pag. 35.

que ha poucos annos aínda era posto em dúvida por alguns auctores (1).

Estes comprimentos eram exageradamente grandes, principalmente quando com as radiações eléctricas se pretendiam repetir as experiéncias de óptica, com o fim de verificar a theoria de Maxwell.

Righi, diminuíndo a capacidade e o coefficiente de inducção própria do oscillador, conseguiu obter ondas eléctricas de $2^{cm},5$ de comprimento.

O oscillador era constituído apenas por duas espheras metállicas de poucos centímetros de diámetro, muito próximas uma da outra.

O effeito produzido por este apparelho era insignificante, mas este inconveniente remediou-se approveitando a idéa de Sarasin e de la Rive (2) de fazer saltar a faísca do oscillador em um líquido isolador, o que augmenta extraordinariamente a acção.

Os líquidos empregados pelos primeiros experimentadores foram o azeite, a esséncia de therebintina e o petróleo, aos quaes Righi preferiu o óleo de vaselina.

O emprego do dieléctrico líquido tem tambem a vantagem de conservar limpas por muito tempo as superficies das espheras do interruptor, que, funccionando no ar, se alteram rapidamente, necessitando por isso de serem polidas repetidas vezes. Deste modo póde ter-se um oscillador funccionando muito regularmente durante um largo espaço de tempo.

(1) *Revue Générale des Sciences*, tom. I, pag. 141.

(2) Sarasin et de la Rive, *C. R.*, tom. CXV, pag. 439.

Outra modificação de Righi é a substituïção do carrete de inducção por uma máchina de Holtz de quatro discos com conductores diametraes.

A máchina é privada dos condensadores, e os conductores principaes sam ligados por conductores flexiveis, introduzidos em cylindros isoladores, a duas espheras situadas em linha recta com as do oscillador.

Esta disposição é differente da de Toepler, que precedeu Righi na substituïção do carrete por uma máchina d'inducção.

Enquanto a máchina funcciona, vêem-se saltar tres faíscas: duas nas espheras que communicam com a máchina, e uma no líquido isolador. Como a máchina fornece um grande fluxo de electricidade, as tres faíscas renovam-se com tal frequéncia, que parecem á nossa vista constituír um phenomeno luminoso contínuo.

Os primeiros oscílladores, que Righi empregou eram verticaes, isto é, as quatro espheras tinham os centros na mesma vertical.

As espheras do meio, que constituiam propriamente o oscíllador, eram selladas nas aberturas menores de dois vasos tronco-cónicos, obtidos cortando convenientemente dois funís de vidro; o espaço comprehendido entre estes vasos, que se podia fazer variar por meio de um parafuso, enchia-se com vaselina.

Esta disposição tinha vários inconvenientes, entre outros o de não se poder alterar a direcção do oscillador.

Nos novos modelos as espheras A e B (fig. 4),

estam fixas no centro de grossos discos de madeira, ou de vidro, ou aínda melhor d'ebonite, C D, E F, que fórmam as bases de um reservatório cylíndrico de paredes flexiveis.

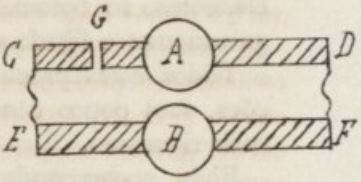

Fig. 5

Uma abertura G, praticada num dos discos, permitte encher o recipiente com óleo de vaselina, e ao mesmo tempo dá saída aos gazes produzidos pela faísca.

Righi na maioria das suas experiencias, colloca este oscillador num espelho cylíndrico de secção parabólica, cuja linha focal coïncide com o eixo de oscillação.

Entre outras observações interessantes, como a relação entre a intensidade das oscillações e a distáncia entre as espheras A e B, notou aínda este observador, que a efficácia das oscillações é sensivelmente maior quando no oscillador se empregam espheras massiças em vez das ôccas com o mesmo diámetro exterior; a acção é tanto mais enérgica, quanto mais espessa é a camada metállica de que a esphera é formada.

Variadíssimos sam os modelos de resonadores, que se têem construído, e os meios, que se têem proposto, para tornar manifesta a existéncia das oscillações eléctricas.

Ora se têem tornado mais volumosas e luminosas as pequenas faíscas dos resonadores d'Hertz, por meio de um tubo com gaz rarefeito, com ou sem eléctrodos auxiliares em communicação com uma

fonte de electricidade; ora se mostra a existéncia de oscillações recorrendo aos elementos thermo-eléctricos, ao bolómetro, ao electroscópio ou ao galvanómetro ligado com uma pilha eléctrica, etc.

Todos estes processos, uteis para demonstrações, sam pouco cómmodos para as experiencias mais rigorosas.

Righi, conservando o processo original d'Hertz de empregar as faíscas para demonstrar a existencia das oscillações, tornou-as mais brilhantes fazendo-as saltar á superficie do vidro, pois, como se sabe, embora este phenómeno não tenha explicação satisfactória, para eguaes differenças de potencial, obtêem-se faíscas maiores á superficie dos isoladores do que no ar livre.

O resonador de Righi compõe-se essencialmente de uma lámina de vidro prateada em parte da sua superficie. A interrupção para as faíscas obtém-se pondo a nú o vidro, por meio de uma risca fina traçada a meio da superficie prateada,

A sensibilidade do resonador cresce quando deminue a espessura do traço; se este fôr feito com a ponta de um diamante de modo a não ter mais de 2 μ de largura, a sensibilidade torna-se realmente extraordinária. Augmenta-se a visibilidade das faíscas repetindo os traços na mesma lámina de vidro.

Com o uso, a sensibilidade dos resonadores deminue gradualmente até se annullar por completo. Observando ao microscópio o traço dos resonadores de Righi, nota-se, que os bordos da superficie metállica, ao princípio perfeitamente rectilíneos, se

affastam e denteam com o uso, o que explica a diminuïção de sensibilidade.

Este defeito não constitue inconveniente para o emprego de taes resonadores, facilmente substituíveis em vista da sua barateza e simplicidade de construcção.

Em vez das superficies prateadas pódem empregar-se láminas de espelho ordinário.

Os resonadores pódem, como os oscilladores, ser collocados na linha focal de um espelho parabólico. Facilita-se neste caso a observação das faíscas abrindo na superficie reflectora, por detrás do resonador, uma janella em que se póde excaixar uma lente ou a objectiva de um microscópio.

O apparelho assim montado é empregado em muitas experiéncias, como por exemplo na determinação do azimúth das oscillações, que chegam ao resonador; do valor da intensidade da radiação; da direcção de um raio de força eléctrica; no estudo das vibrações ellípticas e circulares, etc.

Casos ha porém em que se torna impossivel o emprego dos reflectores, taes como os estudos das interferéncias e da diffracção; mas para estas experiéncias é sufficiente a sensibilidade da símplez lámina de vidro prateado.

8. Experiéncias de Nicolau Tesla (1). Nicolau Tesla nasceu em 1857 em Smiljan na Hungria

(1) Thomas Commerford Martin, *The inventions, researches and writings of Nikola Tesla*, New York, 1894.

oriental, sendo filho de um sacerdote orthodoxo.

Graduou-se em 1873, e, escapando a um ataque de chólera, dedicou-se desde logo aos estudos da electricidade e magnetismo. Fez depois em Gratz os estudos de engenharia, donde passou a Buda-Pesth, associando-se ahi com Puskos, com o fim de explorar a installação de telephónios na Hungria.

Desejoso de encontrar um campo mais vasto, onde podesse exercer a sua actividade, procurou e obteve emprego numa das grandes companhias, que em París exploravam a nova indústria da illuminação eléctrica.

Neste novo meio encontrou-se com differentes americanos, dos quaes soube as protecções e vantagens, que nos Estados-Unidos se concedem aos inventores bastante felizes para obterem novos resultados verdadeiramente úteis, qualquer que seja o ramo da sciéncia a que se dediquem.

Arrastado pelo seu espírito irrequieto e pelo desejo de fazer fortuna, abandonou os interesses que tinha em París, dirigindo-se a New-York, onde ao princípio ficou empregado na casa Edison, por cujo director Tesla havia muito sentia uma verdadeira admiração.

As suas aptidões naturaes, manifestadas nos aperfeiçoamentos dos telephónios em Buda-Pesth

Naturwissenchaftliche Rundschau, tom. IX, pag. 4, 17, 29.
Revue Générale des Sciences, tom. IV, pag. 209.
Etienne de Fodor, *Experimente mit Strömen hoher Wechselzahl und Frequenz*. Wien. Pest. Leipzig. Hartleben's Verlag. 1894.

e nas modificações importantes introduzidas nos transformadores da companhia parisiense, foram por assim dizer sobreexcitadas pela actividade do novo meio em que vivia.

Pouco depois de estar na América abandonou Edison, para dirigir uma companhia, que tinha por fim explorar um novo systema de illuminação pelo arco voltaico, fundado nas suas invenções.

Durante este tempo dedicou-se sempre com afinco ao estudo dos motores e das correntes alternativas. Taes foram os resultados obtidos, que Nicolau Tesla é hoje conhecido e respeitado em todo o mundo scientífico, ao mesmo tempo que na sua pátria adoptiva quasi disputa a Edison a popularidade do nome.

As notícias dos seus inventos encontram-se dispersas em revistas, nos resumos das conferencias de New-York (1891), Londres (1892), S. Louis e Philadélphia (1893), e nos livros citados: *Experimente mit Strömen hoher Wechselzahl und Frequenz,* por Etienne de Fodor, director da Estação central eléctrica central d'Athenas, e *Inventions, researches and writings of Nikola Tesla,* por Thomas Commerford Martin.

A attenção de Tesla foi principalmente dirigida no intúito de obter altas frequéncias e altos potenciaes. Para isso empregou primeiramente máchinas baseadas no principio das máchinas ordinárias de correntes alternativas, mas distinguindo-se dellas pelo grande número de carretes empregados na sua construcção.

Um dos typos dos geradores de correntes alter-

nativas consiste num annel de ferro forjado munido interiormente de 384 dentes, em torno dos quaes, como nos carretes, se enrola em zig-zag um fio isolado. Passando por elle uma corrente, todos os dentes se magnetizam, formando-se alternadamente nas suas extremidades pólos norte e sul.

Dentro deste annel gyra muito rapidamente um disco d'aço, ao qual se fixa um arco de ferro forjado, que tem implantados a eguaes distáncias, 484 carretes, que formam a armadura interna.

A corrente gerada na armadura, circúla nos dentes do annel exterior, e, continuando a mover-se nos carretes diante dos dentes magnetizados, origina uma corrente alternativa, que é transmittida ao eixo por molas metállicas apropriadas.

Com grandes velocidades de rotação póde esta máchina fornecer correntes, que mudam de direcção 10.000 vezes por segundo. Como este número é insufficiente para obter, em ponto grande, os phenómenos característicos das descargas electro-estáticas, Tesla tratou de obter oscillações mais rápidas servindo-se da descarga de condensadores.

Uma das suas disposições consiste em fazer atravessar o circuito primário de um carrete de Rhumkorff pela corrente fornecida por uma máchina de correntes alternativas.

Os polos do circuito secundário do mesmo carrete ligam-se ás armaduras internas de duas garrafas de Leyde, cujas armaduras externas communicam por sua vez com o fio primário de um outro carrete de inducção.

Este segundo carrete, *transformador d'alta tensão,* consiste em um fio longo e fino enrolado num cylindro de vidro, cujo eixo é occupado por outro fio curto e grosso, que serve de circuito inductor.

O circuito induzido do carrete de Rhumkorff produz entre as espheras dos seus polos um arco, periodicamente interrompido por uma corrente d'ar, que se estabelece entre as espheras, corrente que é favorecida por duas láminas de mica, que a ellas estam ligadas.

As passo que este arco se interrompe, os condensadores carregam-se e descarregam-se alternadamente através do fio inductor do transformador de alta tensão, que é interrompido ao meio.

Devido ás oscillações das descargas, nascem no circuito secundário deste transformador correntes d'alta tensão, que produzem nas espheras que formam os seus polos, faíscas comparaveis em comprimento ás das máchinas electro-estáticas d'influéncia.

Na producção d'estas correntes d'alta frequéncia apparecem difficuldades, que Tesla procurou evitar por meio de disposições especiaes.

Se o gerador de correntes alternativas fôr poderoso, a faísca formará entre as duas espheras do interruptor um arco luminoso permanente, que depressa as fundirá. Tesla evitou este inconveniente soprando a faísca com fortes correntes d'ar, que, ao mesmo tempo que arrefecem as espheras, interrompem o arco periodicamente. As espheras podem tambem ser protegidas por um

electro-magnete, com os polos defendidos por láminas de mica, que se colloca transversalmente á faísca; deste modo na faísca, que salta entre os dois polos, separam-se as electricidades contrárias, tendo logar sem perturbação a descarga dos condensadores.

A construcção do tranformador d'alta tensão precisa tambem de cuidados especiaes, porque com a construcção ordinária as enormes tensões obtidas destruïriam rapidamente o apparelho.

Uma das maiores difficuldades da construcção consiste em obter um isolamento perfeito das diversas partes do transformador, sem augmentar despropositadamente as suas dimensões. Se no isolador existirem bolhas d'ar, a descarga, actuando pelo bombardeamento molecular do gaz, pode aquecer e fundir camadas de alguns centímetros d'espessura dos melhores isoladores, taes como o vidro, a porcelana e borracha.

Em geral mostra a experiéncia, que os corpos que possuem maior poder inductor específico, como o vidro, produzem uma isolação menos perfeita do que aquelles, que como os óleos o têem menor.

Approveitando esta propriedade, isolou Tesla o seu transformador mergulhando-o numa caixa de madeira cheia d'óleo de vaselina ou de óleo de máchinas; as paredes externas da caixa sam revestidas com folhas de zinco em communicação com o sólo.

O transformador é formado por dois cylindros de cauchú endurecido, em que se enrola, formando 26 camadas, fio de cobre bem isolado,

Este fio, que constitue o circuito induzido, enrola-se nos dois cylindros em sentido contrário; as duas metades ligam-se em série, fazendo-se a ligação sobre o circuito primário.

Esta disposição tem por fim compensar as acções inductoras, diminuíndo assim o perigo da ruptura do circuito primário e das hélices secundárias.

O fio primário, dividido em duas partes, é enrolado tambem em sentido contrário sobre um cylindro de madeira, e as suas quatro extremidades, isoladas em tubos de borracha endurecida, excedem na parte superior o nivel do óleo. As extremidades do circuito secundário excedem tambem, egualmente isoladas, o nivel do líquido isolador.

Para aperfeiçoar o isolamento todas as peças, que formam o transformador, sam fervidas em óleo de paraffina, antes e depois da construcção do apparelho.

Para evitar os effeitos luminosos, que sempre apparecem na parte exterior da camada isoladora, e trazem grande perda d'energia, Tesla revestiu esta camada de uma folha delgada de alumínio, com o auxílio da qual o isolador e o fio constituem um campo eléctrico completamente separado do ambiente.

O transformador de Tesla distingue-se aínda dos seus congéneres pela auséncia de ferro, cuja magnetização não acompanharia oscillações tam frequentes, e que pelo rápido aquecimento impediria o regular funccionamento do apparelho.

Outras disposições experimentaes se têem empregado com o fim de produzir ondas eléctricas,

mas todas ellas, como as de Sarasin e de la Rive, sam ligeiras modificações de qualquer dos tres typos de apparelhos de Hertz, Righi e Tesla, que deixamos descriptos, e por isso nos dispensamos de lhes fazer especial referéncia.

CAPITULO II

PROPAGAÇÃO DAS OSCILLAÇÕES

1. Não sendo possivel medir o período de um oscillador, determina-se experimentalmente o seu valor empregando méthodos indírectos.

Um dos processos mais usados funda-se no phenómeno conhecido pelo nome de *resonáncia eléctrica*.

Imaginemos um excitador fixo, e um resonador cujas dimensões ou capacidade se possam fazer variar; a intensidade da faísca, que salta no interruptor, varía tambem, sendo máxima para um determinado valor da capacidade. Neste caso diz-se, que ha resonáncia, por serem eguaes os períodos do resonador e do excitador.

Para comparar os períodos de dois excitadores, procuram-se numa série de resonadores semelhantes de differentes dimensões, dois que estejam em accordo com os excitadores. Os períodos estam entre si como os comprimentos dos resonadores.

A resonáncia eléctrica differe da resonáncia acústica em não se poder determinar com precisão um máximo na intensidade da resonáncia.

Sarasin e de la Rive (1) explicam este phenómeno suppondo, que o excitador produz uma vibração complexa, em que cada resonador encontra o próprio período de vibração; Hertz e Poincaré (2) suppõem, que a vibração, partindo do excitador, amortece muito rapidamente quando encontra o resonador, de modo que depois de cessar a vibração do excitador, continúa o resonador a vibrar com o período próprio.

Sarrasin e de la Rive proposeram o nome de *resonáncia múltipla* para esta propriedade, que têem as vibrações produzidas por um excitador, de fazer saltar faíscas em todos os resonadores, cujos períodos estejam comprehendidos dentro de certos limites, chegando mesmo a verificar (3) em resonadores, cujos diámetros variavam entre $0^m,26$ e 1^m, que o entre-nó por elles revelado é sensivelmente proporcional ao diámetro do resonador.

Garbasso (4) foi dos primeiros que fez experiéncias, com o fim de verificar qual das hypotheses é a mais acceitavel.

Se o excitador emitte uma só espécie de oscillações, devem ellas deixar de se propagar quando fôrem absorvidos os raios de comprimento d'onda

(1) Sarasin et de la Rive, *C. R.*, tom. CX, pag. 72.

(2) Poincaré, *Les oscillations Eléctriques*, pag. 105 a 123. *Electricité et Optique*, tom. II, pag. 249.

(3) Sarasin et de la Rive, *Journal de Physique*, 2me serie, tom. IX, pag. 494.

Archives de Genéve, tom. XXIII. pag. 113.

(4) Garbasso, *Atti della R. Acad. delli Sci. di Torino*, tom. XXVIII.

correspondente; mas, se as oscillações têem vários comprimentos d'onda, absorvida uma, as outras continuarám a propagar-se e poderám tornar-se visiveis por qualquer dos processos conhecidos.

Garbasso serviu-se de um excitador d'Hertz collocado na linha focál de um espelho cylindro-parabólico, e de dois resonadores quadrados: um A, de fio de cobre com $0^{cm},25$ de espessura e 15^{cm} de lado, outro B, tambem de fio de cobre de $0^{cm},07$ de espessura e com o comprimento total de 16^{cm}.

Sobre uma pequena mêsa com a largura da abertura do espelho estavam nove resonadores eguaes a A dispostos em tres séries.

Collocando o resonador A em frente do espelho a uma distáncia de dois metros, viam-se saltar distinctamente as faíscas secundárias; interpondo a mêsa com os resonadores, estas faíscas enfraquecem, para retomarem a intensidade primitiva quando, pelo afastamento das respectivas espheras, se tornam inactivos os resonadores da mêsa.

Parece assim, que os resonadores semelhantes a A absorvem a energia capaz de nelles dispertar as vibrações.

Se em vez de A se empregar o resonador B, collocando-o a menos de um metro de destáncia do espelho, observam-se faíscas fracas e difficilmente visiveis, que não soffrem alteração pela interposição da mêsa, quer os seus resonadores estejam activos ou inactivos, o que mostra que a energia, que excita as vibrações no resonador A, não representa toda a energia do excitador.

Esta conclusão concorda, como se vê, com as ideias de Sarasin e de la Rive.

A circunstância de exercerem os resonadores uma absorpção electiva sobre as ondas dos excitadores levou Garbasso a pensar que as observações d'Hertz sobre as acções das redes metállicas eram apenas phenomenos d'absorpção: uma rede absorve uma dada vibração quando cada um dos seus fios com o espaço intermédio forma um resonador, cujo comprimento d'onda próprio seja egual ao da vibração, que a rede absorve.

Para verificar esta presumpção empregavam-se duas redes, em que as extremidades de cada fio eram munidas de dois discos de zinco de capacidade determinada.

As duas redes sòmente differiam pelos discos, que na rede R_1 eram tres vezes maiores em diámetro do que na rede R_2.

Os fios tinham 14^{cm} de comprimento e $0^{cm},14$ de espessura, distando 3^{cm} uns dos outros; os discos de R_1 tinham 6^{cm} de diámetro. Collocando a rede R_1 entre o excitador e o resonador A, este conservava-se inactivo, enquanto que o comprimento das suas faíscas não era alterado pela interposição da rede R_2.

Qualquer das redes fazia interromper as faíscas do resonador B.

As faíscas de um outro resonador circular de 20^{cm} de diámetro, embora menos vivas do que as do resonador A, não eram alteradas pela rede R_1.

Destas experiéncias conclue Garbasso:

α) um excitador produz ondas de differentes comprimentos;

β) um resonador absorve as ondas, cujos comprimentos sam eguaes aos que lhe correspondem pela theoria, e só essas;

γ) uma rede é uma série de resonadores, e como estes absorve certas ondas, deixando passar as outras.

Bjerkness (1), estudando o phenómeno da resonáncia múltipla, achou que tanto a hypóthese de Hertz como a de Sarasin não explicam o phenómeno em toda a generalidade. As suas fórmulas levam a distinguir tres casos differentes segundo os valores relativos dos amortecimentos do resonador e do excitador:

1.º Se o amortecimento do resonador é pequeno em relação ao do oscillador, verifica-se a lei de Sarasin e de la Rive.

2.º Se os amortecimentos sam proximamente eguaes, observa-se um phenómeno complicado, pela influéncia quasi egual que no entre-nó observado têem os comprimentos d'onda do excitador e do resonador.

3.º Se o amortecimento do resonador é grande em relação ao do excitador, obtém-se uma lei contrária á de Sarasin e de la Rive. O valor do entre-nó é constante para o mesmo excitador, qualquer que seja o resonador empregado; varía com as dimensões do oscillador, mesmo que se empregue o mesmo resonador.

(1) Bjerkness, *Wied. Ann.*, tom. XLIV, pag. 92.

Os phenómenos, que constituem o primeiro caso, tinham sido os únicos observados, até que Strindberg (1) tentou verificar experimentalmente os dois últimos.

O oscillador empregado tinha a fórma circular com o fim de deminuir o amortecimento. Na parte superior dois discos metállicos serviam de condensadores, e ao mesmo tempo, variando a distância entre elles, faziam variar o período do excitador. Este apparelho collocava-se verticalmente; as faíscas saltavam num líquido isolador, que de ordinário era o petróleo.

O fio conductor do circuito secundário acompanha o do primário até á altura do condensador; ahi separam-se e seguem parallela e horizontalmente em uma extensão de 30^{m}, ao fim da qual se reúnem.

Nas differentes experiéncias as armaduras do condensador estávam ás distáncias de 20, 7, 5, 3, e 1, 3 centímetros, uma da outra.

O resonador, de fórma circular, contém no seu circuito dois discos de alumínio parallelos, cada um delles ligado a um polo.

Este apparelho póde deslocar-se ao longo dos fios parallelos, e ser por elles suspenso, sem que haja communicação metállica.

Os resonadores eram de ferro ou cobre com 140 ou 107^{cm} de comprimento por 1,16, 0,10, 0,50, 0,20 millímetros de diámetro.

(1) Strindberg, *Journal de Physique*, 3me serie, tom. IV, pag. 143.

Archives des Sciences Physiques e *Naturelles* (Genéve), tom. XXXII, pag. 130.

Strindberg fez seis séries de experiéncias, verificando numas a theoria de Sarasin e de la Rive, pondo noutras em evidéncia a mudança do phenómeno, como o indica a theoria de Bjerkness, quando o amortecimento do resonador se torna mais consideravel do que o do oscillador. Este phenómeno tem logar quando se empregam resonadores de fio de cobre de diámetro inferior a $0^{mm}1$.

Para os fios de cobre, cujos diámetros estam entre 0,1 e 1^{mm}, o phenómenonão é símplez; affasta-se da lei de Sarasin e de la Rive, e corresponde ao segundo caso. Os fios mais grossos entram no primeiro caso theórico.

Mais tarde o mesmo auctor (1), substituíndo a observação das faíscas pela do calôr de Joule desenvolvido nos resonadores, determinou não sò o entre-nó, mas tambem as curvas completas de interferéncia.

O apparelho empregado é um eléctro-dynamómetro de Hertz um pouco modificado: dois fios de cobre branco (2) de $0^{mm},22$ de diámetro e 10^{cm} de comprido estendidos parallelamente á distáncia de 2^{mm}, dilátam-se pelo aquecimento quando percorridos pelas correntes alternativas do resonador, e produzem o desvio de uma leve agulha, transversalmente ligada ao fio. Estes desvios observam-se com o microscópio.

Um resonador, a que este apparelho esteja ligado, póde deslocar-se ao longo dos fios condu-

(1) Nils Strindberg, *C. R.*, tom. CXXII, pag. 1403.
(2) Argentan.

ctores das ondas com tanta facilidade como os resonadores de faíscas.

A disposição experimental é a mesma das primeiras experiéncias, com a differença que os fios têem 30^m de comprimento, e que o plano do resonador se colloca parallelamente ao plano, que elles determinam.

Strindberg fez tres séries de experéncias empregando em cada uma dellas sempre o mesmo resonador.

O excitador foi disposto de modo a emittir ondas de tres comprimentos differentes, que, bem como os desenvolvimentos logarithmicos correspondentes, foram separadamente determinados por um méthodo directo sem o emprego do resonador.

No 1.º caso o resonador de fio de cobre foi fracamente amortecido enquanto que o excitador tinha o decrescimento consideravel de 1,1 quando os fios, que recolhem as ondas, passavam a 1^{cm} de distáncia do fio conductor do excitador.

Nestas experiéncias o excitador dá comprimentos de onda de $5^m,6$, $6^m,8$ e $9^m,4$. Com o resonador observa-se uma curva de interferéncia dum entre-nó de $5^m,5$.

Neste caso a lei de Sarasin e de la Rive é rigorosamente confirmada.

No 2.º caso augmentou-se o amortecimento do resonador substituíndo o fio de cobre por outro de ferro de $0^m,1$ de diámetro. Quando o excitador emitte ondas de $5^m,9$, $6^m,9$ e 10^m de comprimento a curva de interferéncia obtida com o resonador dá entre-nós de $6^m,4$, $7^m,2$ e $8^m,2$.

E' evidente, que a lei de Sarasin e de la Rive em virtude da qual a posição do entre-nó devia ser invariavel, não se applica a este caso.

O entre-nó differe tambem sensivelmente do do excitador, o que corresponde ao caso complicado, em que as influéncias dos dois apparelhos se fazem egualmente sentir.

No 3.º caso deminue-se o decrescimento do excitador, que passa de 1,1 a 0,5, afastando de 5^{cm} o fio do excitador, e o que serve para transmittir as ondas.

Quando o excitador emitte ondas de $5^{m},5$, $7^{m},5$ e 12^{m} de comprimento, a curva de interferéncia obtida com o resonador mostra entre-nós de $5^{m},8$, $6^{m},6$ e $11^{m}9$ quasi idénticos ao do excitador.

Realizou-se proximamente o segundo caso limite, que a theoria exige, mas que não é confórme com a lei dos dois sábios de Genebra, a não ser que nella se substitúa o excitador pelo resonador e vice-versa.

Debaixo do ponto de vista qualitativo a theoria de Poincaré e Bjerkness está pois completamente confirmada.

2. Velocidade de propagação das oscillações nos fios e no ar. A egualdade entre as velocidades de propagação da luz e das ondulações eléctricas é hoje um facto assente. Prevista pelas antigas theorias, conclue-se directamente das equações de Maxwell.

As tentativas feitas para determinar a *velocidade*

da electricidade, como antigamente se dizia, datam já de muitos annos.

Os méthodos empregados nesta determinação pódem dividir-se em duas classes:

α) Méthodos directos, em que se mede o tempo gasto pelas ondullações em percorrer certa distância, ou em que se medem directamente os factores λ e T da aquação $\lambda = VT$.

β) Méthodos indirectos, em que de qualquer modo se faz depender a velocidade de um factor, que não é observado, mas calculado.

A primeira medida da velocidade foi feita em 1834 por Wheatstone (1). O circuito constituído por $731^{m},5$ de fio de cobre dobrava-se de modo a formar 20 linhas parallelas afastadas 15^{cm} umas das outras; tres interruptores de faíscas, collocados nos extremos e no meio do fio, dispunham-se verticalmente uns sobre os outros em frente de um espelho gyrante.

Descarregando um condensador através do circuito via-se, que a imagem central se deslocava em relação ás outras duas.

Combinando a grandeza deste deslocamento com a velocidade da rotação do espelho achou Wheatstone 463.000 chilómetros para velocidade de propagação.

Em 1849, na America, Walker achou que a mesma velocidade é de 30.000 chilómetros. Resultados tam divergentes não tinham valor algum.

(1) Wheatstone. *Pogg. Ann.,* tom. XXXIV, pag. 464.

Fundados no mesmo princípio do méthodo de que Fizeau se serviu para determinar a velocidade da luz, Fizeau e Gounelle (1) procuráram tambem em 1850 qual o valor da velocidade das ondulações eléctricas.

Os conductores empregados foram os fios de ferro de 314 chilómetros da linha telegráphica entre París e Amiens e os da linha de 288 chilómetros de París a Rouen, formados em parte de fios de cobre, em parte de fios de ferro.

Uma roda de madeira, gyrando em torno do seu eixo com grande velocidade, tinha a circunferéncia dividida em trinta e seis sectores alternadamente de platina e madeira.

Dois fios terminados cada um por um pincel metállico, appoiados na circunferéncia da roda, podiam alternadamente ser isolados ou communicar metállicamente um com o outro.

Tres pares de pinceis permittiam a distribuição da electricidade fornecida por uma pilha.

Um dos polos da pilha ligava-se á Terra e o outro com um fio AB terminado pelo pincel B. O fio da linha C D E E′ ligava o pincel com a extremidade D da linha e voltava em seguida aos pinceis E e E′. O ultimo par de pinceis F e F′ communicava com a Terra por dois outros fios FG e F′G′.

Os sectores da roda podiam ligar B com C, E com F, E′ com F′, sendo a disposição tal que as communicações BC e EF estavam ao mesmo tempo

(1) Fizeau et Gounelle, *C R.*, tom. xxx, pag. 437.

abertas ou fechadas quando pelo contrario E′ F′ estava fechada ou aberta.

Chamando *período* o tempo decorrido desde que um dos pinceis entra e deixa de estar em contacto com um dos sectores, isto é $\frac{1}{30}$ de duração de uma revolução eompleta da roda, vê-se, que o período será tanto menor, quanto maior fôr a velocidade de rotação.

Supponhámos que o tempo T gasto pela ondulação em percorrer o fio C E E′ é egual a um número par de períodos. A eléctricidade vinda da pilha passará de B para C quando a communicação BC estiver aberta e percorrendo a linha chegará no fim do tempo T a E e E′. Neste momento a communicação C F está aberta, E′ F′ fechada e a corrente passa para o fio F G.

Sendo T egual a um número impar de períodos quando a eléctricidade chega a C e a C′, C F está fechada, E′ F′ aberta e a corrente passa para o fio F′ G′.

A velocidade de rotação da roda póde ser tal que a corrente passe toda para o fio F G ou para F′ G′; para valores intermédios da velocidade a corrente divide-se em differentes proporções nos dois fios.

Os fios F G e F′ G′ ligavam-se a um galvanómetro differencial, que permittia a comparação das intensidades médias das correntes, que num e noutro circulavam.

T, e portanto a velocidade de propagação das ondulações, determinava-se regulando convenientemente a velocidade de rotação do commutador.

Fizeau e Gounelle acharam 100.000 chilómetros para a velocidade no ferro, e 180.000 para a velocidade no cobre.

Na realidade a experiéncia não é tam simplez, pois mesmo quando T é um múltiplo inteiro do período, uma das correntes F G ou F' G' nunca se annulla, como deveria ser se a eléctricidade se propagasse com uma velocidade determinada. As coisas passam-se, como se a perturbação se dilatasse, quando se propaga, de maneira que á chegada occupe maior extensão de fio do que á partida. Este phenómeno foi observado nas suas experiéncias por Fizeau, que lhe deu o nome de *diffusão da corrénte.*

Parece, que uma parte da eléctricidade se propagava com a velocidade da luz, enquanto que o o resto a seguia com uma velocidade menor e variavel, como uma columna cuja frente avançasse 300.000 chilómetros, mas que fosse deixando retardatários pelo caminho.

O processo empregado por Fizeau não mede a velocidade máxima, mas sòmente a média, o que explica em parte as grandes differenças entre as velocidades achadas e a da propagação da luz.

A velocidade média é menór no ferro do que no cobre por duas razões: 1.ª porque o ferro é magnético, o que augmenta a inducção própria por causa da magnetização transversal; 2.ª porque a sua resisténcia específica é maior do que a do cobre, o que augmenta a influéncia da diffusão.

Em 1875 Siemens (1) determinou a velocidade de propagação por um processo mais perfeito do que os que até ahi se tinham empregado.

Reüniam-se por meio de um fio de pequena resisténcia as armaduras externas de duas garrafas de Leyde. Uma das armaduras internas ligava-se por um fio curto a uma ponta P, situada próximo da superficie, coberta com negro de fumo, de um cylindro d'aço, em communicação eléctrica com o sólo; a este cylindro podia imprimir-se um rápido movimento de rotação em torno do seu eixo.

A outra armadura interna communicava por meio de um longo fio telegráphico com uma segunda ponta P', situada na mesma generatríz e á mesma distáncia do cylindro que a primeira.

A faísca entre a ponta P e o cylindro salta primeiro, e em seguida salta outra entre o mesmo cylindro e a ponta P'; qualquer dellas deixa marcados na camada de negro de fumo traços bem visiveis, que permittem, medindo a sua distáncia angular, calcular o tempo, que a ondulação gasta em percorrer o fio mais longo.

Os condensadores carregavam-se, e em seguida descarregavam-se ligando com o solo o fio, que reünia as armaduras externas, o que libertava ao mesmo tempo as cargas das armaduras internas.

A ponta P deixava um traço único; P' uma série de traços succedendo-se com intervallos mais ou menos regulares, o que mostra a existéncia de

(1) Siemens, *The Physical Review*, tom. IV, pag. 83. *Ann. der Phys. und Chim.*, tom. 157, pag. 309.

uma série de faíscas, attribuíveis a effeitos da diffusão.

Uma primeira faísca aquece o ar, e estabelece uma passagem por onde a eléctricidade se esgota; mas em virtude da rotação do cylindro este conductor allonga-se e encurva-se, augmentando de tal modo a resisténcia, que a electricidade prefere estabelecer nova passagem por uma segunda descarga disruptiva, e assim successivamente. Deste modo uma corrente contínua póde originar uma série discontínua de faíscas.

Em quatro séries de experiéncias, empregando differentes fios de ferro, Siemens obteve os seguintes resultados:

Comprimento em chilómetros	Velocidade em chilómetros
25,36	202,600
23,32	230,500
7,2	241,800
23,32	256,600

As divergéncias entre estes valores pódem explicar-se por diversas maneiras, attribuíndo-as por exemplo a differenças de susceptibilidade magnética do ferro, e á desegualdade do afastamento da ponta P′ da superficie do cylindro nas differentes séries d'experiéncias, etc.

Destas experiéncias nada se podia concluír com respeito á velocidade de propagação das oscillações; os resultados das observações de Siemens estam ainda longe do valor theórico de 300.000 chilómetros.

Blondlot (1), fundado na hypóthese de Sarasin e de la Rive, que o comprimento d'onda observado depende do resonador, determinou a velocidade das oscillações calculando os valores de λ e T do comprimento d'onda e do período próprios do resonador empregado, que introduzidos na formula $\lambda = V\ T$ davam o valor da velocidade.

Para determinar com precisão o período empregou Blondlot resonadores constituídos por um condensador de armaduras circulares, afastadas uma da outra de uma fracção de millímetro, e reünidas por um circuito rectángular de fio de cobre de $0^{cm},184$ de diámetro. O rectángulo, cujos lados eram respectivamente eguaes a $10^{cm},2$ e $6^{cm},3$, formam um circuito de 32^{cm} de comprimento total.

Este comprimento, pequeno em relação ao das ondas emittidas pelo oscillador, permitte que se considere uniforme a intensidade da corrente em todo o circuito e se applique a fórmula

$$T = 2\pi\sqrt{CL}.$$

A média de treze experiéncias deu para velocidade de propagação 297.620 chilómetros.

Por outro processo, independente de qualquer theoria, procurou Blondlot (2) determinar a velocidade de propagação das ondulações.

(1) Blondlot, *C. R.*, tom. CXIII, pag. 628.
(2) Blondlot, *C R.*, tom. CXVII, pag. 543.

Dois condensadores eguaes, formados por cylindros de vidro revestidos interior e exteriormente com folhas d'estanho, têem as armaduras externas formadas por duas partes annulares isoladas uma da outra.

As armaduras internas estam ligadas respectivamente aos polos dum carrete d'inducção, e as espheras, em que terminam, estam separadas por um intervallo de 6 a 8^{mm}.

Dos anneis superiores de estanho das armaduras externas nascem á mesma altura dois fios de latão terminados em ponta um em frente do outro; a distáncia entre elles é de $0^{mm},5$.

Dos anneis inferiores nascem dois outros fios de 1029^{m}, que terminam nas mesmas pontas que os precedentes.

Quando o carrete funcciona, os dois condensadores carregam-se por meio de duas cordas molhadas, que conduzem a eléctricidade das armaduras externas de um condensador ás armaduras eguaes do outro.

Quando se dá uma descarga entre as espheras das duas armaduras internas, as cargas das armaduras externas libertam-se, e estabelece-se subitamente uma differença do potencial entre os anneis semelhantes dos dois condensadores. As cordas molhadas, em vista da grande rapidez das variações, não podem conduzir a eléctricidade, e por isso os anneis superiores das armaduras externas descarregam-se mutuamente por uma faísca, que salta entre as pontas dos fios de latão, que dellas nascem.

Do mesmo modo os anneis inferiores ligados ás mesmas pontas descarregam-se por uma faísca, que entre ellas salta, mas tam sòmente depois da perturbação originál ter percorrido os 1029^{m} de fio conductor.

Para medir o tempo decorrido entre o apparecimento das duas faíscas, concentra-se por meio de um espelho cóncavo, movel em torno de um eixo parallelo aos fios de latão, a luz, que ellas emittem, e que em seguida se projecta num diaphragma vertical ou sobre uma chapa photográphica.

Como se vê, o processo empregado é muito semelhante ao de Siemens.

O fio mais longo, que nesta experiéncia se empregava, era de cobre chamado de grande conductibilidade; tinha 3^{mm} de diámetro, e estava ligado aos postes da linha telephónica, que liga a prefeitura de Nancy com a asylo de Maréville.

Com o fio de 1029^{m} a média obtida em 15 experiéncias deu para velocidade de propagação 296,400 chilómetros; com um fio de egual diámetro e $1821^{m},4$ de comprimento este valor subiu a 298.000.

Antes de iniciar estas experiéncias Blondlot receiava, que por effeitos da diffusão da corrente a segunda faísca não saltasse, o que como vimos não accontece. Ha na verdade differença de intensidade entre as duas faíscas, o que até ajuda a distinguí-las, mas não deve ser attribuída á diffusão, porquanto, separando o fio de latão das armaduras do condensador, a faísca, que subsiste, tem um brilho superior ao primitivo.

A differença d'intensidade entre as duas faíscas póde explicar-se suppondo, que a primeira, que salta, aquece o ar entre as duas pontas, de modo que a segunda é menos brilhante por saltar num meio de resisténcia menór.

Hertz (1) com o fim de demonstrar, que a velocidade de propagação das perturbações eléctricas ao longo de um fio é finita, substituíu as espheras do seu excitador por duas láminas de cobre verticaes de 40^{cm} de lado. O conductor, que prolongava as chapas metállicas, estava a metro e meio do chão.

Hertz chamou linha da base uma linha recta horizontal passando pelo interruptor das faíscas perpendicularmente á direcção da oscillação primária, e contava as distáncias ao oscillador sobre essa linha, a partir de um ponto zero, afastado 45^{cm} do interruptor.

Atrás de uma das láminas metállicas collava-se parallelamente outra lámina egual, donde partia um fio de cobre de 1^{mm} de diámetro, que se prolongava até á linha da base. D'ahi o fio incurvava-se até passar 30^{cm} acima do interruptor de faíscas, prolongando-se em seguida em linha recta, parallelamente á linha da base, até uma distáncia sufficientemente grande para que não houvesse a receiar qualquer perturbação, nas ondas reflectidas.

Hertz julgou sufficiente fazer o fio saír por uma janella, e ligá-lo ao sólo depois de um percurso de 60^{m} pelo ar livre.

(1) Hertz, *Wied. Ann.*, tom. XXXIV, pag. 551.
Electric Waves, pag. 107.

Approximando do fio um resonador vêem-se saltar faíscas, cuja intensidade se pode alterar fazendo variar a distáncia entre a chapa do excitador e a que está ligada ao fio.

Para obter ondas estacionárias o fio terminava livremente a uma certa distáncia, e para demonstrar a existencia de nós e ventres o resonador collocava-se de modo, que tendo o centro na linha da base, e a interrupção na parte superior, o seu plano fosse vertical e passasse pelo fio.

Na extremidade livre do fio as faíscas eram muito pequenas; augmentam até um certo límite quando o resonador se desloca para o lado do excitador, para em seguida diminuirem até ao primitivo comprimento, e assim successivamente.

Medindo o comprimento destas ondas, e tornando o fio egual a um múltiplo deste comprimento, acha-se, repetindo a experiéncia, que toda a extensão do fio se acha dividida por pontos nodaes em ondas separadas. Marcando com cavalleiros de papél a posição dos pontos nodaes vê-se, que os intervallos, que os separam, sam precisamente eguaes.

Cortando o fio por um nó o phenómeno entre elle e a origem do fio não é alterado, e as ondas podem continuar a propagar-se na parte cortada se ella fôr mantida na sua primitiva posição.

Substituíndo o fio empregado por outro mais fino ou mais grosso, ou por um fio de outro metal, mesmo que elle seja o ferro, os pontos nodaes conservam as mesmas posições.

Nas experiéncias d'Hertz os nós eram particular-

mente nítidos, quando o fio se cortava a 8 ou a 5,5 metros do ponto zero da linha da base. No primeiro caso os nós achavam-se a $0^m,2$, $2^m,3$, $5^m,1$ e 8^m; no segundo a $0^m,1$, $2^m,8$ e $5^m,5$ do mesmo ponto, o que dá para valor médio do meio comprimento d'onda $2^m,8$.

Sendo de 10^{-8} segundos o período do excitador, achou Hertz 200.000 chilómetros para velocidade de propagação das oscillações.

Este valor não é porém o que resulta das experiéncias; Hertz achou-o commettendo no cálculo do período do oscillador um erro, que depois foi corrigido por Poincaré (1). A velocidade de propagação assim calculada é de 280.000 chilómetros.

Experiéncias ulteriores contradizem em parte as de Hertz, e mostram, que os comprimentos das ondas, que se propagam, sam menores nos fios de ferro do que nos de cobre.

Saint-John (2) empregou um excitador d'Hertz, ao qual se liga um fio duas vezes dobrado em ángulo recto, de modo a formar tres lados dum rectángulo, cujo lado menor era parallelo ao eixo do excitador. As extremidades dos lados maiores introduziam-se em dois pequenos tubos de vidro, sobre os quaes se enrolavam dois conductores ligados ás extremidades dum bolómetro, que se aquece pela acção das correntes induzidas nestes fios; a

(1) Poincaré, *C. R.*, tom. CXI, pag. 322.

(2) Saint-John, *Journal de Physique*, 3me série, tom. IV, pag. 90.

Philosophical Magazine, tom. XXXVIII, p. 425.

variação de resisténcia mede-se com uma ponte de Wheatstone por meio dum galvanómetro.

Fazendo variar o comprimento dos lados maiores do fio de 15 a 900 cm, Saint-John observou, que para determinados comprimentos o desvio do galvanómetro passa por um máximo ou por um mínimo. Admittindo, que as oscillações, que percorrem o fio, sam devidas a um phenómeno de resonáncia, os máximos e mínimos devem corresponder a comprimentos de fios eguaes a números inteiros de meios comprimentos d'onda, que por sua vez serám eguaes a metade da differença dos comprimentos, que dam dois máximos consecutivos.

Não variando o período das oscillações, achou Saint-John, que o comprimento d'onda é menór nos fios de ferro do que nos de cobre do mesmo diámetro.

Eis os resultados de algumas experiéncias:

Natureza do fio	Diámetros	Meios comprimentos d'onda
Cobre	0 cm,1201	255 cm,8
Ferro	0 ,1186	251 ,6
Cobre	0 ,07836	251 ,6
Ferro	0 ,07850	246 ,8

Deminuíndo o diámetro dos fios de cobre o comprimento d'onda deminue tambem:

Diámetro dos fios	Meios comprimentos d'onda
0 cm,1201	255 cm,8
0 ,0884	255 ,2
0 ,07836	251 ,6
0 ,03915	244 ,8

Para estudar a variação da duração das oscillações, que resulta da substituïção de um circuito de cobre por outro de ferro com a mesma fórma geométrica, Trowbridge (1) empregou dois carretes com a mesma inducção própria, symetricamente collocados ao longo dum eléctro-magnete. Os carretes fazem parte de dois circuitos distinctos, cada um dos quaes contém um condensador, que é carregado pela corrente d'inducção, produzida no carrete correspondente quando se fecha a corrente do eléctro-magnete. As imagens das faíscas das descargas sám projectadas por um espelho gyrante sobre uma chapa photográphica.

Um dos circuitos é invariavel; a duração da sua oscillação toma-se para termo de comparação na medida de duração da oscillação do segundo circuito, formado ora por fios de ferro, ora por fios de cobre.

Sendo o diámetro dos fios superior a $0^{mm},8$, a duração das oscillações nos circuitos de ferro é sensivelmente a mesma que nos de cobre; para diámetros menores a duração da oscillação no circuito de ferro é maior que nos de cobre com a mesma fórma geométrica.

Trowbridge e Duane (2) augmentáram as dimensões de um vibrador d'Hertz até que a dura-

(1) Trowbridge, *Journal de Physique*, 3me série, tom. IV, pag. 91.

Philosophical Magazine, tom. XXXVIII, pag. 441.

(2) Trowbridge e Duane, *Journal de Physique*, 3me série, tom. V, pag. 97.

American Journal of Science, 3d series, tom. XLIX, pag. 207.

ção das oscillações fosse sufficiente para se poder determinar pela photographia das faíscas.

Medindo em seguida o comprimento das ondas induzidas no circuito secundário em resonância com o vibrador, obtiveram a velocidade da propagação dividindo este comprimento pelo valor da duração de uma oscillação completa.

O apparelho empregado foi o de Saint-John ligeiramente modificado. Para verificar a resonância dos dois circuitos, e obter a forma das ondas no circuito secundário, serviu um bolómetro análogo ao que Paalzow e Rubens descrevêram. A média dos resultados obtidos deu para velocidade de propagação 281.600 chilómetros.

Numa segunda série d'experiéncias os mesmos auctores (1) adoptáram uma disposição, que permitte obter uma boa onda, e uma faísca susceptivel de ser photographada.

Dois pratos metallicos quadrados A e B (fig. 6) de 50^{cm} de lado collocam-se verticalmente, e constituem o condensador primário. O dieléctrico, que os separa, é uma chapa plana de vidro de poder inductor específico egual a 8.

O condensador secundário é formado por pratos quadrados de 26^{cm} de lado, collocados em frente dos pratos A e B, dos quaes estam separados por um dieléctrico de poder inductor específico 2.

(1) Trowbridge e Duane, *Journal de Physique*, 3me série, tom. v, pag. 275.

American Journal of Science, 3ª series, tom. L, pag. 104.

A fig. 6 indíca, como se ligam aos condensadores os circuitos primário e secundário.

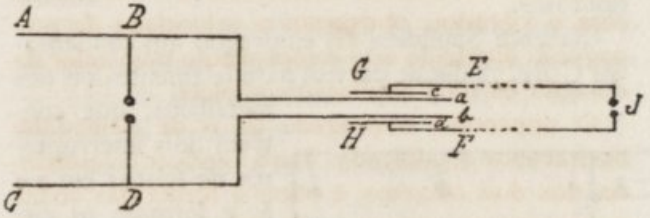

Fig. 6

Para verificar o período de oscillação do circuito primário a parte B D continha um excitador com as extremidades esphéricas.

A distáncia entre AB e CD era de 40^{cm} e os comprimentos destes fios 85^{cm}.

O comprimento total do circuito secundário era 58^{m},6.

As imagens da faísca secundária projectavam-se sobre uma chapa sensivel por meio de um espelho gyrante, cuja velocidade era determinada por um chronógrapho eléctrico.

As extremidades do excitador secundário representavam um papel importante nas caracteristicas das photographias.

Experimentados o estanho, alumínio, magnésio, e outros metaes foi por fim adoptado o cádmio, por ser o que produzia melhores faíscas.

Com esta disposição Trowbridge e Duane acháram para valor médio de velocidade 300.240 chilómetros.

Com o intuito de medir a velocidade de propagação fizeram-se recentemente na Clark University, Estados-Unidos da America, experiéncias muito rigorosas.

Clarence Saunders (1) empregou um condensador C (fig. 7), donde partem parallelamente dois fios metállicos, que contêem dois interruptores de faíscas em *a* e *b*, e formam os circuitos primário A, e secundário B.

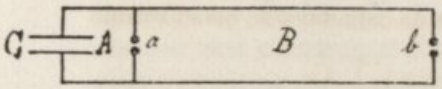

Fig. 7

Quando em *a* saltam faíscas oscillatórias as oscillações propagam-se no circuito secundário B. O período das oscillações no circuito primário, dependendo da capacidade e da inducção própria do circuito, póde fazer-se variar deslocando o interruptor *a*. Quando o período do circuito primário se approxima do período natural do secundário, dá-se o phenómeno da resonáncia, revelado pela intensidade que as faíscas adquirem no interruptor *b*.

Se o circuito B funcciona como um tubo d'orgão aberto ($l_2 = \frac{\lambda}{2}$), a corrente é nulla e o potenciál é máximo nas duas extremidades. Se pelo contrário funcciona como um tubo fechado ($l_2 = \frac{\lambda}{4}$), a corrente e o potenciál sam máximos em uma e nullos na outra extremidade.

(1) Clarence Saunders, *The Physical Review*, tom. IV, pag. 81.

Era este o caso, que se dava nas experiéncias de Saunders.

Experiéncias preliminares foram feitas com fios curtos.

O comprimento da faísca *b*, medido por meio de um parafuso micrométrico, quando a descarga se dava indifferentemente em *a* ou *b*, dava a medida da resonáncia.

O comprimento d'onda calculava-se pela fórmula

$$\lambda = 2 \pi \sqrt{L C} ,$$

sendo L determinado pelo processo de lord Reyleigh, e C pelo de Maxwell modificado por J. J. Thomson.

Saunders empregou depois um longo fio de 580^m, cujo comprimento foi rigorosamente determinado.

Uma porção de fio foi por algum tempo subjeito a uma tensão proximamente egual á que devia soffrer quando definitivamente suspenso, com o fim de medir o allongamento, que dahi podia resultar. O isolamento dos fios foi tambem objecto de particular attenção.

O condensador empregado era constituído por quatro jarras de Leyde, do melhor crystal da Bohémia, com uma capacidade total de 57,552 centímetros.

Para obter o período das oscillações fizeram-se photographias da faísca secundária, obtidas por um systema de lentes e espelhos planos gyrantes.

O espelho construído para o professor Michelson, e empregado nas experiéncias sobre velocidade da

luz, consta de uma peça de aço de espessura bastante para que não haja a receiar distorsões lateraes, tendo quatro superficies circulares polídas de 38^{mm} de diámetro, dispostas como as faces lateraes de um cubo. As partes superior e inferior do espelho terminam em dois eixos ligeiramente cónicos.

O fundo da caixa, onde o espelho se mette, tem uma porca, em que se introduz um cylindro ôco, cujas superficies interna e externa sam cortadas em hélice.

A extremidade deste parafuso tem uma cavidade cónica, em que encaixa a extremidade do eixo do espelho.

Quando este parafuso está ajustado, introduz-se pela sua porca interior um outro mais fino terminado por uma lámina plana de diamante, onde assenta a extremidade do eixo do espelho. Um parafuso de segurança mantém os primeiros numa posição invariavel.

A parte superior da caixa tem um arranjo idéntico.

O espelho é collocado numa caixa com tubos de ferro para conduzirem o ar, que incidindo em duas pequenas turbinas ligadas ao eixo do espelho, lhe imprimem um rápido movimento de rotação.

Para observar o espelho e tornar uniforme o seu movimento empregava-se uma válvula especial, que se movia á mão, e um caixilho de 60×80 centímetros provido de grandes pesos.

A velocidade da rotação do espelho foi determinada com grande rigor.

A comparação com um padrão, empregando um processo óptico, estava naturalmente indicada, como sendo o méthodo mais delicado e menos moroso.

O professor Michelson comparou o período de rotação do espelho com o de vibração dum diapasão, mas as observações foram difficultadas pela pequena amplitude das vibrações do diapasão.

Saunders substituíu o diapasão por um motor rigorosamente regulado por Webster.

A caixa de ferro, contendo o espelho e os apparelhos reguladores da velocidade de rotação, era collocada sobre um pilár de pedra fundamente enterrado, com o fim de evitar a trepidação ou qualquer outra causa perturbadora do regular andamento do espelho.

O tempo era dado pelas vibrações dum diapasão e por um chronógrapho, cuja marcha foi determinada com rigor por um grande número de observações astronómicas.

Nas experiéncias definitivas determinou-se primeiro a velocidade de propagação num longo circuito, cujos fios foram em seguida cortados, e as experiéncias repetidas com o fim de determinar a velocidade em circuitos menores. Em cada experiéncia fazia-se variar a velocidade de rotação do espelho.

A faísca primária saltava entre as espheras de 9^{mm} de diámetro, e a secundária entre pontas de magnésio, collocadas de modo que houvesse verdadeira resonáncia.

O período do diapasão era todos os dias determinado, embora não variasse durante todo o tempo,

que duráram as experiéncias, e a temperatura da sala manteve-se constantemente a mesma, com o fim de evitar nos cálculos a consideração deste factor.

Nas photographias nada havia de especial; tornáram-se porém notaveis em algumas chapas as grandes distáncias relativas entre as imágens das oscillações.

As oscillações medíam-se com uma máchina de dividir, provida de uma lente de pequeno poder amplificante.

Eis os resultados das experiéncias feitas com tres circuitos differentes.

Circuito I. Resonáncia $l_1 = 2701$ cm.; $l_2 = 55.592$ cm; $\lambda = 222368$ cm. Velocidade do espelho 49,742; número de oscillações 48; somma dos deslocamentos 42,412; deslocamento por oscillação 0,8836. — $V = 2934 \times 10^{10}$ cm.

Velocidade do espelho 74,613; número d'oscillações 31; somma dos deslocamentos 40,808; deslocamento por oscillação 1,3164. — $V = 2954 \times 10^{10}$ cm.

Circuito II. Comprimento do fio supprimido 15,240 cm.; comprimento do fio conservado 43053 cm.; resonáncia

$l_1 = 1484$ cm.; $l_2 = 41569$ cm; $\lambda = 166276$ cm.; velocidade do espelho 49,552; número de oscillações 64; somma dos deslocamentos 41,282; deslocamento por oscillação 0,645. — $V = 2994 \times 104$ cm.

Velocidade do espelho 74,328; número de oscillações 50; somma dos deslocamentos 48,322; deslocamento por oscillacão 0,956. — $V = 2998 \times 10^{10}$ cm.

Circuito III. Comprimento do fio supprimido 14909 cm.; comprimento do fio conservado 28144 cm.; resonáncia $l_1 = 614$ cm.; $l_2 = 27530$ cm.; $\lambda = 110120$ cm.; velocidade do espelho 49,552; número de oscillações 63; somma dos deslocamentos 26,873; deslocamento por oscillação 0,4266. — $V = 2998 \times 10^{10}$ cm.

Velocidade do espelho 74,328; número de oscillações 75; somma dos deslocamentos 48,034; deslocamento por oscillação 0,6405. — $V = 2995 \times 10^{10}$ cm.

Velocidade do espelho 99,104; número de oscillações 17; somma dos deslocamentos 14,497; deslocamento por oscillação 0,8521. — $V = 2999 \times 10^{10}$ cm.

O valor da velocidade, calculado pela fórmula, é em seguida expresso em tempo solár.

A velocidade calculada no circuito maiór é menór que nos outros dois, o que Saunders attribue em parte á falta de nitidez da resonáncia naquelle circuito, cujo máximo se não podia determinar com precisão.

O valor médio da velocidade de propagação resultante das experiéncias de Saunders é de 2982×10^{10} cm. por segundo para os tres circuitos, e 2997×10^{10} cm. para os dois últimos.

Vê-se de todas as experiéncias, em que se tem pretendido medir a velocidade de propagação das oscillações eléctricas nos fios metállicos, que os resultados obtidos se approximam muito, como pela theoria de Maxwell deve acontecer, da velocidade de propagação da luz.

Hertz (1) procurou tambem a velocidade de propagação no ar.

As primeiras experiéncias foram feitas em Carlsruhe numa sala com 15 metros de comprido por 14 de largo e 6 d'altura, dividida em tres corpos por duas filas de columnas de ferro, que Hertz suppoz comportarem-se para com as oscillações, como se fossem paredes contínuas. Deste modo o espaço destinado ás experiéncias ficava reduzido a 15 metros de comprido por 8,5 de largo.

(1) Hertz, *Wied Ann.*, tom. XXXIV, pag. 618. *Electric Waves*, pag. 124.

Ao fundo da sala havia uma espécie de nicho com um metro de fundo, onde se collocava um espelho de zinco de 4 metros de altura por dois de largo, electricamente ligado com os tubos de gaz e agua, que ahi passavam.

O excitador collocava-se verticalmente ao meio da sala a 13^m de distáncia do espelho.

O interruptor do excitador estava $2^m,5$ acima do solo; um estrado de madeira permittia que se fizessem observações a distáncias grandes do chão.

O resonador empregado era um círculo de 35^{cm} de ráio, arranjado de modo a poder mover-se em torno de um eixo, que passava pelo centro perpendicularmente ao seu plano.

Nestas experiéncias o eixo conservava-se horizontal, e descançava num cabo de madeira, de modo que tanto o círculo como o eixo se podiam mover em torno dum eixo vertical.

Explorando o campo nas vizinhanças duma recta passando pelo interruptor do oscillador, perpendicularmente ao espelho, com o fim de evitar phenómenos de polarização, que introduzissem perturbações nas experiéncias, achou Hertz a $1^m,72$ do espelho o primeiro ventre; a $4^m,12$ o primeiro nó; entre 6 e $6^m,5$ um segundo ventre pouco nítido; não foi possivel determinar a posição do segundo nó.

Hertz toma para comprimento d'onda o quádruplo da distancia entre o primeiro ventre e o primeiro nó, isto é, $9^m,60$.

O nó, que precedia o primeiro observado, devia, sendo este o comprimento d'onda, estar 70^{cm} àtrás

da superficie do espelho. Este resultado é devido a causas perturbadoras aínda não determinadas. A velocidade de propagação no ar, calculada admittindo este comprimento d'onda, é quasi o dobro da velocidade de propagação nos fios.

Estas experiéncias foram feitas collocando o resonador no plano de vibração, isto é, num plano verticál passando pelo excitador e pela linha da base.

Collocando o resonador no plano da onda, isto é, num plano parallelo ao espelho, os nós e ventres sam menos nítidos, e os resultados sam proximamente os mesmos das experiéncias precedentes.

Hertz repetiu estas experiéncias em Bonn, mas os móveis, que guarneciam a sala d'experiéncias, introduziam sensíveis perturbações, de modo que os máximos e mínimos das faíscas sòmente com difficuldade se distinguiam.

Sarasin e de la Rive (1) repetíram estas experiéncias servindo-se de um espelho formado por uma folha de chumbo de $2^m,8$ de altura e 3^m de largura, em frente do qual se collocava, a distáncias variaveis entre 4 e 10^m, um excitador com o eixo horizontal e o interruptor na normal ao centro da superficie metállica.

Empregando resonadores de differentes diámetros constituídos por fiios de várias espessuras, mostráram, que o comprimento d'onda, dado por cada resonador no caso de propagação no ar, é

(1) Sarasin et de la Rive, *C. R.*, tom. CXII, pag. 658.

sensivelmente egual ao que o mesmo apparelho dá, no caso da propagação nos fios, isto é, que a velocidade de propagação das oscillações eléctricas no ar é sensivelmente a mesma com que ellas se propagam ao longo dos fios conductores.

Empregando pequenos resonadores, cujo diámetro fosse inferior a 20^{cm}, chegou-se a determinar a posição de tres ventres e tres nós comprehendendo nestes o do espelho.

Com o fim de poderem trabalhar com resonadores de maior diámetro Sarasin e de la Rive (1) encostáram a uma parede da casa das turbinas das «Forças motrizes de Genebra» um espelho de zinco de 8^{m} de altura por 16 de largo.

Para examinar as faíscas secundárias ao longo da normál ao meio da superficie reflectora, fizeram construir uma ponte a 4^{m} de altura, que constituía um corredor completamente escuro.

O excitador primário collocava-se a 15^{m} do espelho nas condições das experiéncias anteriores, com a differença que a faísca saltava no óleo em vez de saltar no ar.

Com um resonador de 50^{cm} de diámetro acháram: 1.º ventre 1^{m}; 1.º nó 2^{m}; 2.º ventre 3^{m}; 2.º nó 4^{m}; 3.º ventre 5^{m}; 3.º nó 6^{m}.

Com o de 75^{cm}: 1.º ventre $1^{m},5$; 1.º nó 3^{m}; 2.º ventre $4^{m},5$; 2.º nó 6^{m}; 3.º ventre $7^{m},5$.

Os entre-nós sam eguaes aos obtidos com os mesmos resonadores, quando as oscillações se propagam ao longo dos fios.

(1) Sarasin et de la Rive, *C. R.*, tom. CXV, pag. 1277.

Sarasin e de la Rive julgam ter assim demonstrado a identidade da velocidade das oscillações no ar e nos fios, qualquer que seja o seu comprimento d'onda.

Dufour (1) demonstrou tambem a egualdade das velocidades, quando o comprimento das ondas é menor que 30^{cm}.

O excitador empregado foi o de Righi. O resonador era formado por um quadrado de fio grosso de cobre tendo num dos lados uma interrupção para as faíscas. As extremidades desta interrupção sam uma arredondada e outra em ponta; o intervallo, que as separa, póde fazer-se variar flectindo os lados do quadrado, para o que se fixam os lados vizinhos do interruptor ao meio de duas hastes de uma espécie de compasso de madeira.

A elasticidade do fio de cobre tende a afasta-las: um parafuso de pequeno passo collocado na extremidade livre das hastes obriga-as a approximarem-se, e permitte regular a abertura do interruptor.

Um prisma de reflexão total convenientemente collocado faz vêr as faíscas, sem que o observador se approxime do apparelho.

No estudo feito por Hertz (2), do modo como as oscillações se propagam ao longo dum fio, encontra-se a explicação da egualdade das velocidades nos fios e no ar.

Um envolucro metállico é um diaphragma absoluto.

(1) Dufour, *C R.*, tom. CXVIII, pag. 1039

(2) Hertz, *Wied. Ann.*, tom. XXXVII, pag. 395.
Electric Waves, pag. 160.

Collocando um resonador em posição conveniente para que as faíscas tivessem 5 ou 6^{mm} de comprimento, via-se, que ellas desappareciam, quando se envolvia o apparelho numa caixa metállica, de zinco por exemplo.

Uma caixa de papel dourado, em que a espessura do metal é inferior a 0^{mm},25, produzia o mesmo effeito, quando havia o cuidado de manter um contacto perfeito entre as folhas de papel.

Envolvendo o conductor secundário por um conductor tam delgado quanto possivel, o effeito era ainda o mesmo.

Imaginando agora, que ha contacto perfeito entre estes dois conductores, o último representará evidentemente a parte mais superficial do primitivo circuito secundário, a única que intervém na conducção das oscillações, as quaes, apezar de terem energia sufficiente para produzir faíscas de 5 ou 6^{mm}, não penetram na massa do conductor senão numa pequenissima espessura inferior a 0^{mm},25.

Hertz foi assim levado a suppôr, que a chamada corrente induzida no circuito secundário é um phenómeno, que se passa no meio que envolve o conductor, e no qual não toma parte a sua massa interior.

Com o fim de o demonstrar fizeram-se varias experiéncias. Uma das disposições consiste em interromper num ponto o fio de que Hertz se serviu no estudo da velocidade de propagação, limitando as duas extremidades por pequenas espheras, o que constituía um interruptor de faíscas.

Uma das partes deste fio ligava-se a um disco metállico circular de 15 centímetros de diámetro,

que com outro disco egual formava as bases de um cylindro recto, cujas generatrizes eram representadas por 24 fios de cobre. Este cylindro era uma espécie de gaiola, em que ficava envolvido o interruptor de faíscas.

Um tubo conductor de $1^{m},50$ soldava-se ao segundo disco, que tinha no centro um buraco, pelo qual passava o fio conductor.

Se o tubo e o fio se não tocavam, as faíscas saltavam no interruptor, para desapparecerem quando a extremidade do tubo tocava no fio conductor.

Substituíndo o tubo metállico por outros com as paredes cada vez mais delgadas, nunca Hertz conseguíu obter faíscas no interruptor, quando entre elle e o fio havia communicação.

Empregando tubos de vidro chymicamente prateados, as faíscas no interruptor appareciam apezar do contacto do fio com o tubo, quando a folha metállica era assás fina para ser completamente transparente para a luz; a sua espessura era inferior a 1^{μ}.

Isto prova, que por mais enérgicas que sejam as ondas eléctricas, que se propagam num conductor, a sua acção não penetra além da superficie mais do que a luz que ahi se reflecte.

Devemos portanto considerar estas ondas como existindo no meio, que envolve o fio, e não no próprio fio, e em vez de dizermos que as ondas se propagam nos fios, diremos, que ellas deslizam por elles.

Ha uma differença fundamental entre o modo de ver de Hertz e a concepção ordinária do modo de propagação das oscillações.

Suppunha-se, que os conductores eram os corpos, que facilitavam a propagação das ondulações eléctricas, isoladores os que a ella se oppunham. As experiéncias d'Hertz tendem a provar, que a propagação das perturbações eléctricas só tem logar através dos dieléctricos, oppondo-lhe os conductores uma resisténcia tal, que se torna invencivel no caso das oscillações muito rápidas.

Segundo este modo de ver conductores e dieléctricos deviam trocar respectivamente os nomes.

Os metaes, sendo maus conductores da força eléctrica, pódem, em certas condições, não só impedir a sua dissipação, mas até mesmo concentrá-la; deste modo tornam-se conductores da origem apparente das forças — a electricidade — segundo a terminologia usual.

3. Propagação das oscillações nos dieléctricos. Nas experiéncias, que até aqui temos descripto, estudou-se a propagação nos conductores em presença de um único dieléctrico, o ar. As propriedades dos outros dieléctricos sam mais difficeis de averiguar, mas nem por isso offerecem menos interesse.

Segundo a theoria de Maxwell o poder inductor específico de um corpo é egual ao quadrado do seu índice de refracção.

Esta relação tem sido experimentalmente verificada para alguns corpos; para outros porém os resultados das experiéncias estám em completo desaccordo com a theoria.

Não descreveremos, por não caberem nos limites do nosso trabalho, os variados processos, que têem sido empregados desde 1771, em que Cavendish pela primeira vez mediu o poder inductor específico de algumas substâncias; observaremos apenas, que o erro proveniente da penetração das cargas na massa dos dieléctricos, é muito attenuado pelo emprego nestas determinações de oscillações eléctricas muito rápidas.

Numerosas sam as experiéncias, que confirmam a relação de Maxwell; experiéncias recentes e rigorosas tendem a fazer deminuír cada vez mais o número dos resultados, que a contradizem.

Arons e Rubens (1), experimentando com dieléctricos líquidos, acháram os seguintes valores:

	$\sqrt{k}$	$\lambda = 6^m$	$\lambda = 6.10^{-7}$ m (risca D)
Óleo de rícino	2,16	2,05	1,48
Azeite . . .	1,75	1,71	1,47
Petróleo . .	1,44	1,40	1,45
Xylol . . .	1,53	1,50	1,49

Estendendo aos sólidos as suas experiéncias, obtiveram (2):

	$\sqrt{k}$	$\lambda = 6^m$	$\lambda = 6.10^{-7}$ m
Paraffina fluida . .	1,41	1,47	1,48
— semi-fluida	1,44	1,48	a
— sólida . .	1,40	1,43	1,53
Vidro n.º 1 . . .	2,33	2,33	1,51
— n.º 2 . . .	2,43	2,49	1,53

(1) Arons e Rubens, *Journ. de Phys.*, 2me sér., t. x, pag. 379. *Wied. Ann.*, tom. XLII, pag. 588.

(2) Arons et Rubens, *Journ. de Phys.*, 3me ser., t. I, pag. 82. *Wied. Ann.*, tom. XLIV, pag. 177.

Negreano (1) obteve os seguintes resultados:

	$\sqrt{k}$	n_D
Benzina pura	1,5139	1,5062
Toluína	1,4949	1,4912
Xylina	1,5059	1,4897
Metaxylina	1,5421	1,4977
Pseudo-cumina	1,5591	1,4837
Cymina	1,5716	1,4837
Essencia de terebentina .	1,5039	1,4726

e Palaz chegou aos seguintes:

Benzina	1,517	1,4997
Toluína n.º 1	1,537	1,4949
— n.º 1	1,537	1,4848
Petróleo ordinário n.º 1 .	1,457	1,4487
— — n.º 2 .	1,445	1,4477
— rectificado . .	1,481	1,4769

Em differentes gazes achou Boltzmann (2):

	$\sqrt{k}$	n
Ar	1,000295	1,000294
Anhydrido carbónico .	1,000473	1,000449
Hydrogénio	1,000132	1,000138
Óxydo de carbono . .	1,000345	1,000340
Bióxydo d'azote (NO_2) .	1,000492	1,000503
Methana	1,000472	1,000443
Ethana	1,000656	1,000678

(1) Negreano, *Journal de Physique*, 2me série, tom. II, pag. 557.

(2) Boltzmann, *Sitz. der Wiener Akademie*, tom. LXIX, pag. 795.

Blondlot (1), experimentando com a esséncia de terebentina e óleo de rícino, achou, que o comprimento das ondas eléctro-magnéticas emittidas por um oscillador é constante, qualquer que seja o meio isolador em experiéncia, isto é, o comprimento d'onda depende sòmente das dimensões do oscillador, como em Acústica o comprimento das ondas emittidas por um tubo depende sòmente do seu comprimento.

Uma dúvida havia para o gêlo por causa das propriedades excepcionaes, que lhe tinham sido attribuídas. Bouty achou, que o poder dieléctrico do gêlo é egual a 78, valor enorme em comparação com o das outras substáncias.

Blondlot (2), approveitando os intensos frios do inverno de 1892 a 1893, fez doze séries de experiéncias com o fim de determinar o comprimento das ondas emittidas pelo oscillador, quando se propagam no gêlo. As suas experiéncias leváram-no a adoptar para poder dieléctrico do gêlo o número 2, resultado pouco depois confirmado por Perot (3), e que concorda com a relação de Maxwell pois, para o gelo é $n = 1,98$.

Borel (4) determinou as constantes dieléctricas principaes de cinco substáncias crystallizadas no

(1) Blondlot, *C. R.*, tom. CXV, pag. 225.
(2) Blondlot, *C R.*, tom. CXI, pag. 595.
(3) Perot, *C. R.*, tom. CXIX, pag. 601.
(4) Borel, *C. R.*, tom. CXVI, pag. 1509.
Archives des Sciences Physiques et Naturélles, tom. XXX, pag. 131.

systema ortho-rhómbico e de dez crystallizadas no monoclínico.

Os resultados, a que chegou, sam interessantes.

As differenças entre os valores observados e os calculados, partindo dos índices de refracção segundo os tres eixos de elasticidade do crystál, e suppondo verdadeira a relação de Maxwell, entram em geral na ordem dos erros de experiéncia.

Como meio de verificação o mesmo auctor determinou as constantes principaes do enxofre ortho-rhómbico, e comparou os seus valores com os que Boltzmann anteriormente achára.

Os resultados, a que chegou, sam satisfatórios, como se vê pelos seguintes números:

	k_1	k_2	k_3
Boltzmann	4,77	3,97	3,81
Borel	4,66	3,86	3,67
Cálculo segundo a relação de Maxwell	4,59	3,88	3,59

CAPITULO III

RÁIOS DE FORÇA ELECTRICA

Verificado que as oscillações eléctricas se propagam em ondas com a mesma velocidade da luz, procurou-se repetir com as ondas eléctricas as experiéncias, a que se prestam as ondas luminosas, com o fim de verificar a theoria de Maxwell, segundo a qual os phenómenos luminosos não sam differentes dos eléctro-magnéticos.

Os comprimentos das ondas emittidas pelos primitivos oscilladores eram demasiado grandes para se observarem com precisão os phenómenos, a que dam logar as oscillações eléctricas, a maior parte dos quaes eram encobertos por phenómenos de diffracção.

Os apparelhos modernos, principalmente os modelos de Righi, emittem ondas de comprimento bastante pequeno para que todas as experiéncias d'Optica possam ser repetidas.

Ao estudo destes interessantes phenómenos se têem dedicado grande número de physicos, e raro é o dia em que das suas experiéncias não resulta

mais uma prova a favor da theoria eléctro-magnética da luz.

A existéncia das ondas, o modo da sua propagação, os phenómenos da reflexão a que já nos referimos, e muitos outros, levam á consideração de ráios de força eléctrica, perfeitamente comparaveis aos ráios luminosos, que em Óptica estamos habituados a considerar.

As fontes dos ráios eléctricos sam em geral constituídas por oscilladores collocados na linha focál de espelhos cylindro-parabólicos, análogos aos descriptos com os apparelhos de Righi. Esta disposição, pela primeira vez empregada por Hertz (1), é a que até hoje tem provado melhór.

1. Propagação rectilínea. Nestas experiéncias tanto o oscillador como o resonador occupam as linhas focáes de dois espelhos eguaes. Collocando entre elles, perpendicularmente á direcção do ráio, uma folha de zinco de dois metros de altura por um de largo, as faíscas secundárias desapparecem por completo.

Um observador collocado na passagem dos ráios, de modo que os intercepte, extingue tambem as faíscas do resonador.

Os dieléctricos, como a madeira, não extinguem as faíscas. Experiéncias recentes mostram porém que a transparéncia não é egual para todos elles.

(1) Hertz. *Wied. Ann.*, tom. XXXVI, pag. 769.
Electric Waves — On electric radiation, pag. 172.

Inclinando para um ou outro lado um dos espelhos, nota-se, que a faísca do resonador enfraquece, quando os planos de symetria deixam de concordar, e que se extingue por completo, desde que elles fazem entre si um ángulo de 15°.

2. Phenómenos de interferéncia. Algumas das experiéncias já descriptas mostram claramente a propriedade, que têem as ondas eléctricas, de interferir, e vimos já como Hertz e outros se servíram desta propriedade não só para determinar o seu comprimento, mas tambem para medir a sua velocidade de propagação.

A experiéncia de Wiener feita com as ondas luminosas é facil de repetir. Collocando um oscillador em frente de uma superficie reflectora, obtêem-se ondas estacionárias. Um resonador deslocado ao longo da normal commum ao espelho do oscillador e á superficie reflectora indíca a posição dos ventres e dos nós.

A experiéncia dos espelhos de Fresnel foi pela primeira vez realizada por Boltzmann (1), mas o grande comprimento das ondas empregadas faz suppôr, que as franjas obtidas seriam pouco nítidas.

Debaixo do ponto de vista práctico ha uma grande differença entre as experiéncias de Fresnel, e aquellas em que se empregam ondulações eléctricas.

(1) Boltzmann. *Wied Ann.*, tom. XI, pag. 396.

Com as ondas luminosas é de toda a conveniéncia obter franjas de interferéncia, cujas distáncias recíprocas sejam muito maiores do que o comprimento d'onda da luz empregada, sem o que se não poderiam distinguir. Dahi a necessidade de observar as franjas a grande distáncia da superficie dos espelhos, cujo ángulo deve ser pouco menor que 180°.

Na experiéncia análoga feita com as ondas eléctricas, não só não ha necessidade de franjas tam afastadas, mas até se deve procurar, que a sua distáncia recíproca seja pouco superior a meio comprimento d'onda, sem o que poucas franjas se pódem observar no campo commum aos dois fascículos de radiações reflectidas nos espelhos.

Com este fim nas experiéncias de Righi os espelhos formam um ángulo bastante inferior a 180° e o oscillador, separado do reflector, colloca-se em differentes pontos próximos da superficie dos espelhos.

Deslocando um resonador nos pontos do espaço, em que o cálculo mostra deverem existir as franjas d'interferéncia, vê-se na realidade, que as faíscas do resonador passam ahi por máximos e mínimos de intensidade.

Para que as ondas do oscillador não attinjam directamente o resonador, é conveniente empregar um diaphragma metállico collocado em posição appropriada.

Se os dois espelhos da experiéncia de Fresnel estiverem no mesmo plano, o campo commum aos dois fascículos reflectidos desapparece, mas rece-

bendo-os num espelho côncavo, que os concentre sobre um resonador, póde este accusar máximos e mínimos d'intensidade, quando um dos espelhos se desloque parallelamente a si mesmo.

Esta experiéncia, comparavel á do apparelho interferéncial de Fizeau, presta-se a fornecer uma bôa medida do comprimento d'onda.

Righi conseguiu aínda obter franjas de interferéncia com uma disposição análoga á de Fresnel, que consiste em fazer reflectir sob grande incidéncia parte das radiações emanantes de uma fenda luminosa linear sobre um espelho, que lhe seja parallelo, e fazer interferir esta luz reflectida com a que provém directamente da origem luminosa.

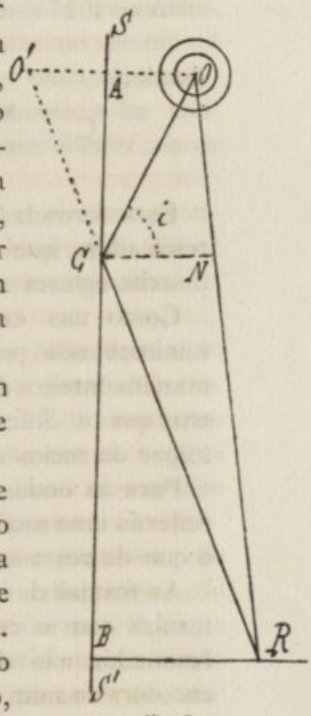

Fig. 8

A experiéncia de Hertz é um caso particular, que corresponde á incidéncia nulla.

No ponto O (fig. 8), colloca-se verticalmente, sem reflector, o oscillador; e em S S' uma lámina reflectora de cobre de 306^{cm} de comprimento por 44^{cm} de altura. O resonador vertical R, privado tambem de reflector parabólico, póde deslocar-se ao longo da recta B R perpendicularmente ao espelho, e recebe tanto as radiações directamente provenientes de O, como as que se reflectem em S S', e que pro-

vêem virtualmente de um ponto O′ symétrico de O em relação á superficie espècular.

Medindo as distáncias O A $= a$ entre o espelho e o oscillador, A B $= b$, e B R $= c$ entre o resonador e o espelho, a differença Δ dos caminhos percorridos pelas ondas, que interferem em R, será:

$$\Delta = \sqrt{b^2 + (a + c)^2} - \sqrt{b^2 + (c - a)^2}$$

donde,

$$C = \frac{\Delta}{2} \sqrt{\frac{4\,a^2 + 4\,b^2 - \Delta^2}{4\,a^2 - \Delta^2}}$$

Esta fórmula permitte calcular as posições do resonador, que correspondem ás differenças da marcha eguaes a o, $\frac{\lambda}{2}$, $\frac{3\lambda}{2}$ etc.

Como nas experéncias de Fresnel, acham-se mínimos nos pontos em que Δ é egual a um número inteiro de ondas, e máximos nos pontos em que a differença de marcha é um número ímpar de meios comprimentos de onda.

Para as ondas eléctricas verifica-se tambem na reflexão uma mudança de phase egual a meia onda, o que de resto se deduz da experiéncia de Hertz.

As franjas de interferéncia, cujo centro é B, sam franjas com o centro escuro; junto ao espelho o resonador não dá faíscas, e o primeiro máximo encontra-se num ponto tal, que a differença entre as suas distáncias a O e a O′ é egual a meio comprimento de onda.

Na experiéncia de Fresnel o ángulo de incidéncia das radiações sobre o espelho é pouco menor do que

90°, e portanto muito maior do que a incidéncia principal; é por isso, que a experiéncia dá sempre o mesmo resultado, quer se empregue luz natural, ou luz polarizada em qualquer azimúth.

Se aínda fosse possivel observar distinctamente as franjas de interferéncia, quando o ángulo de incidéncia é menór do que o ángulo de polarização, deviam obter-se franjas com o centro escuro, quando a luz estivesse polarizada no plano de incidéncia, e franjas com centro brilhante, complementares das precedentes, quando a luz estivesse polarizada num plano perpendicular ao de incidéncia.

Esta experiéncia póde effectuar-se com as radiações eléctricas, e dá o resultado previsto. Basta para isso dispôr horizontalmente tanto o resonador R, como o oscillador O.

Neste caso o resonador dá vivas faíscas próximo do ponto B, revela um mínimo a uma certa distáncia, depois outro máximo, etc. Estes máximos e mínimos occupam proximamente os logares occupados pelos mínimos e máximos observados quando as oscillações eram verticaes.

Estas posições não coïncidem, porque o valor do ángulo d'incidéncia das radiações reflectidas varía com a posição do resonador sobre a recta B R, o que faz tambem variar o atrazo produzido pela reflexão sobre as vibrações parallelas ao plano de incidéncia. Este atrazo cresce de o a $\frac{\lambda}{2}$, quando o ángulo de incidéncia augmenta de o a 90°, passando pelo valor $\frac{\lambda}{4}$, quando este ángulo é sensivelmente egual á incidéncia principal.

Esta não coïncidéncia, revelada pela experiéncia, é uma prova da variação, que soffre com a incidéncia, a differença de phase, que pela reflexão se estabelece entre as vibrações parallelas e as perpendiculares ao plano de incidéncia.

Hagenbach e Zehender (1) descrevêram sem a explicar uma experiéncia, que consistia em collocar entre os espelhos parabólicos dos oscillador e resonador, que eram verticaes e estavam um em frente do outro, uma lámina metállica, que extinguia as faíscas secundárias, não só quando era perpendicular á direcção das radiações, mas tambem quando lhe era parallela bem como ao oscillador.

A explicação está em que este effeito é devido á interferéncia dos ráios, que directamente emanam do oscillador, com os que primeiro se refléctem na lámina metállica, apezar de ella ser parallela á direcção das radiações. Phenómenos de diffracção e imperfeições na construcção do espelho dam sempre logar a um desvio parcial de algumas radiações.

Como era de prever, apparecem intensas faíscas no resonador se na experiéncia de Hagenbach e Zehender se collocar a lámina perpendicularmente ao oscillador e parallelamente á direcção das radiações.

Righi com um biprisma análogo ao de Fresnel obteve com as vibrações eléctricas franjas de

(1) Hagenbach e Zehender. *Wied. Ann.*, tom. XLIII, pag. 610.

interferéncia análogas ás que em Óptica se obtêem com o mesmo apparelho.

O biprisma é um bloco prismático obtido pela moldagem do enxofre fundido numa fôrma de madeira com a fórma de um prisma triangular isósceles.

O lado maior é de 70^{cm} e os ángulos adjacentes de 27°; a altura do biprisma é de 27^{cm}.

O fascículo enviado pelo oscillador, collocado no fóco do reflector parabólico, normalmente á face maior do biprisma divide-se em dois fascículos, que têem de commum uma região do espaço com a fórma de um prisma de base rhómbica.

Deslocando o resonador, desprovido do reflector, no plano que passa pelas diagonaes menores das bases deste prisma rhómbico, que é parallelo á face maior do biprisma, observam-se máximos e mínimos de intensidade das faíscas.

Na linha de cruzamento dos planos, que passam pelas diagonáes do prisma rhómbico, ha uma franja brilhante.

Se quando o resonador occupa o logar de uma franja escura se cobre, por meio de uma lámina metállica uma das metades da face maiór do biprisma, as faíscas reapparecem.

Quando uma onda eléctrica se propaga ao longo de um conductor formado por dois fios parallelos, succede, segundo as observações de Geitler (1), que uma parte da onda se reflecte nos pontos do conductor, onde varía a distáncia entre os dois fios,

(1) Geitler, *Wied. Ann.*, tom. XLIX, pag. 184-195.

ou onde os fios do conductor sam substituídos por outros mais grossos ou mais finos do que elles.

Para verificar estes resultados da theoria fez Barton (1) várias experiéncias no laboratório de Hertz, em Bonn, aínda debaixo da sua direcção.

O conductor primário P G P′ (fig. 9) é formado por dois discos de zinco P e P′ ligados por um fio

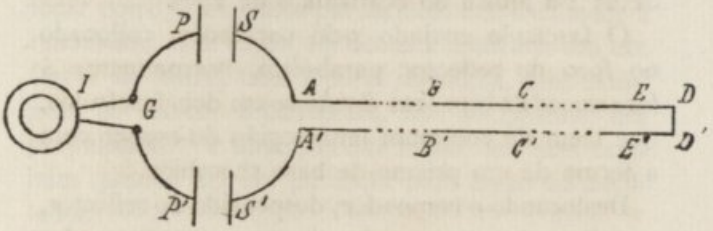

Fig. 9

de cobre de 2 mm de diámetro, tendo no meio um excitador de faíscas G com 2cm de comprido.

O conductor secundário S A D D′ A′ S′ é formado por um fio de cobre de 1 mm de espessura e 160m de comprimento, e de dois discos eguaes S e S′ distantes 30cm de P e P′.

Dos pontos E e E′, escolhidos de modo que fosse $E\ D = E'\ D' = \frac{\lambda}{4}$, partiam duas ramificações para um electrómetro.

A distáncia entre os fios era de 8cm e as partes anómalas do circuito, B C e B′ C′, obtinham-se pen-

(1) Barton, *Proceedings of the Royal Society*, London, tom. LIV, pag. 85-96.

Idem, tom. LV, pag. 349.

Journal de Physique, 3me serie, tom. IV, pag. 337; tom. V, pag. 283.

durando alli folhas d'estanho ou de zinco, ou fazendo variar a distáncia entre os fios.

As ondas, que percorrem o fio, reflectem-se em parte no ponto B, outra parte segue até C onde se dá nova reflexão parcial, e assim successivamente nos pontos do circuito em que existem as anomalias. Deste modo obtém-se uma série de reflexões successivas análogas ás que produzem as differentes côres nas láminas delgadas.

A experiéncia principal de Barton corresponde á dos anneis de Newton obtidos por transmissão.

Augmentando gradualmente a parte anómala do circuito, as ondas transmittidas e reflectidas augmentam e deminuem periodicamente.

Trouton (1), estudando a reflexão numa lámina de vidro, achou, que as vibrações se não reflectem, o que se attribuiu a um phenómeno análogo á producção dos anneis de Newton. A lámina de vidro empregada, tendo uma espessura muito pequena em relação ao comprimento de onda das vibrações eléctricas, os raios reflectidos nas duas faces interferem completamente.

Empregando láminas de paraffina, sendo o comprimento de onda de 66^{cm}, viu que uma lámina de 2^{cm} não reflectia sensivelmente as radiações eléctricas, ao passo que a reflexão era notavel quando a espessura da lámina era de 13^{cm}.

Admittindo o valor 1,51 para índice de refracção de paraffina, a radiação reflectida na segunda face da lámina de 13^{cm} soffria, sendo a incidéncia de

(1) Trouton, *Nature*, tom. XXXIX, pag. 391 e XL, pag. 398.

55°, um atrazo de meio período em relação á radiação, que se reflectia na primeira face, o qual combinado com o atrazo que se produz numa das reflexões, estabelecia um perfeito accordo de phase entre as duas radiações reflectidas.

No caso da lámina de 2^{cm} devia haver uma interferéncia parcial, produzindo-se um phenómeno análogo ao da mancha escura no centro dos anneis de Newton.

Sendo assim uma lámina de 26^{cm} não devia reflectir as radiações eléctricas, mas a reflexão teve logár.

Trouton suppôs então, que o valor 1,51 do índice de refracção calculado pelo valor da constante dieléctrica da paraffina, não era exacto, e tratou de o obter directamente. O valor a que chegou foi 1,8, mas láminas de paraffina com a espessura calculada segundo este novo valor não deram os resultados previstos.

Righi construiu láminas de paraffina e enxofre, que produzem uma differença de marcha de $\frac{\lambda}{2}$ e λ entre os raios reflectidos nas suas faces, quando a incidéncia é de 45°.

Do mesmo modo que nas experiéncias de óptica, em virtude da mudança de signal, que se produz quando a reflexão se faz á superficie de um corpo mais refringente do que aquelle, em que se propaga o ráio incidente, os máximos e mínimos de intensidade da luz reflectida têem logár ao mesmo tempo que os máximos e mínimos da luz transmittida, e por isso as láminas de meio comprimento de onda devem dar uma reflexão máxima e uma transmis-

são mínima: pelo contrário as de inteiro comprimento de onda devem dar uma reflexão nulla e uma transmissão máxima.

A experiéncia confirma esta previsão.

Encostando a uma das láminas de meia onda a de comprimento de onda obtém-se o mesmo effeito, que produziria uma lámina única, cuja espessura fosse egual á somma das espessuras parciaes de cada uma dellas, isto é, o ráio reflectido na segunda superficie tem um atrazo de onda e meia, em relação ao que se reflecte na primeira.

Collocando uma das láminas, a de comprimento de onda por exemplo, de modo que os ráios emanados do oscillador depois de reflectidos na lámina possam ser recebidos no resonador, vêem-se apparecer faíscas neste apparelho á proporção que da lámina d'onda se approxima a de meia onda. A inténsidade das faíscas augmenta gradualmente até ser máxima quando as láminas chegam ao contacto.

Sabe-se, que quando uma lámina delgada se colloca entre dois meios transparentes um dos quaes tenha um índice menór e o outro maiór que o da lámina, o phenómeno óptico inverte-se. Observam-se anneis de reflexão com o centro claro em vez de escuro.

Righi repetiu esta experiéncia, collocando uma lámina de enxofre por trás da lámina de paraffina de meia onda, quando nella se reflectiam as vibrações do oscillador. As faíscas do resonador, que ao princípio eram intensas, enfraquecem ou desapparecem, quando se approxima a lámina de enxofre.

Approximando a lámina de enxofre as faíscas do resonador reapparecerám se em vez da lámina de paraffina de meia onda se empregar a de comprimento de onda.

3. Diffracção. Righi (1) intentou repetir as experiéncias ópticas da diffracção.

Partindo da explicação elementár, que se dá dos phenómenos de diffracção, recorrendo á chamada graduação da onda, tratou Righi, nas suas experiéncias, de realizar com rigor a divisão de uma onda em elementos, a fim de com elles poder operar differentemente consoante a experiéncia a realizar.

As fórmas do oscillador e do resonador levaram-no a considerar o caso de uma onda cylindrica, que é um dos mais símplez.

Righi principiou por preparar um traçado gráphico, que representa uma secção transversal de uma onda cylíndrica collocando depois diaphragmas nos differentes pontos onde eram necessários.

Numa folha de cartão extirado sobre uma mêsa marcou dois pontos O e R (fig. 10) distantes 140^{cm} um do outro, e com o centro em O e um raio de 75^{cm} descreveu um arco de círculo F A F′, sobre o qual para um e outro lado do pólo A procurou os pontos B, C, D, etc., B′, C′, D′, etc. taes, que as suas respectivas distáncias ao ponto R

(1) Righi, *L'ottica delle oscillazioni elettriche*, pag. 103. *Sulle oscil. elet. a pic. lungh. d'onda*, pag. 36.

excedessem o comprimento R A de um, dois, tres, etc. meios comprimentos de onda.

Verticalmente sobre O a meio metro d'altura collocou o oscillador, e sobre R, á mesma altura o resonador.

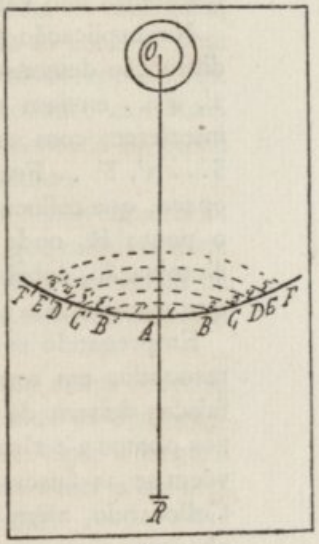

Fig. 10

A superficie cylíndrica, cujo traço no cartão é F A F′, será portanto a porção de uma onda emanada do oscillador, considerada como cylíndrica na sua parte efficaz; as faíscas verticaes limitadas pelas generatrizes, cujos traços sam B, C, D... B′, C′, D′... serám precisamente os elementos da onda graduada. Para simplificar a descripção das experiéncias serám indicados pelos números 1, 2, 3... os que ficam á direita do polo A e por 1′, 2′, 3′... os symétricos em relação ao mesmo ponto.

Nas experiéncias os diaphragmas empregados sam rectángulos de folha de zinco de um metro de altura e com larguras precisamente eguaes aos vários elementos da onda.

Deste modo collocando verticalmente os diaphragmas sobre os elementos correspondentes dá-se uma fórma materiál á onda F F′, que fica constituída por uma lámina de zinco dividida em faixas pelas verticaes, que passam por B, C, etc.

Em todas as experiéncias o oscillador colloca-se verticalmente. Dando-lhe a posição horizontál os resultados não variam sensivelmente.

Na explicação geométrica dos phenómenos de diffracção demonstra-se, que os elementos 2, 4... 2', 4'... enviam ondas elementares para R, que interferem com as que partem dos elementos 1, 3... 1', 3'... Fresnel construíu um diaphragma opaco, que collocado entre a origem luminosa O e o ponto R, onde se observavam os effeitos da illuminação, cobria os elementos de ordem par, o que augmentava a illuminação em R.

Empregando as ondas eléctricas, faz-se gyrar o resonador em torno do próprio eixo até que as faíscas deixem de saltar; collocando em seguida, nos pontos 2 e 2' os diaphragmas correspondentes, vêem-se as faíscas reapparecer immediatamente. Collocando, além destes, os diaphragmas 4 e 4' observa-se um novo augmento de intensidade nas faíscas secundárias.

Quando em Optica se estuda a diffracção produzida por uma fenda estreita, obtém-se no meio do diaphragma, em que se observa o phenómeno, uma inténsidade máxima ou mínima, conforme a fenda deixa livres sobre a onda um número ímpar ou pár d'elementos. Ao lado deste máximo ou mínimo existem dois mínimos ou dois máximos, a que se pódem seguir outras alternativas de inténsidade.

Collocando na figura os diaphragmas de modo que só ficassem livres os tres primeiros elementos d'onda para um e outro lado do polo, o effeito em

R augmentava. Deslocando lateralmente o resonador ao longo de um arco com o centro em O, de modo que não varíe a sua distáncia ao oscillador, encontra-se para um e outro lado do ponto R uma posição, em que as faíscas quasi desapparecem.

Continuando a deslocar o resonador as faíscas tornam a augmentar, sem que contudo se possa determinar um máximo bem definido.

As posições dos mínimos sam sensivelmente as que a theoria prevê. Sam taes, que relativamente a ellas se encontram cerca de dois elementos de onda livres de um lado do respectivo polo, e cerca de quatro do outro.

Sem deslocar o resonador póde assim obter-se um mínimo d'inténsidade collocando os diaphragmas 3, 4, 5... 5′, 6′...; mas em rigor a largura da fenda não é neste caso exactamente a mesma que quando se desloca o resonador.

No meio destas franjas de diffracção ha um máximo. Para obter no mesmo ponto um mínimo era necessário que a fenda tivesse a largura C C′, E E′, etc. Collocando os diaphragmas 3, 4, 5... 3′, 4′, 5′... as faíscas em R desapparecem; deslocando o resonador para um e outro lado observam-se dois máximos d'inténsidade, cujas posições sam as que a theoria indíca. Este phenómeno obtido com a fenda C C′ corresponde ao phenómeno óptico das franjas de diffracção com o centro escuro.

Sendo a fenda da largura B B′ não se observam máximos nem mínimos. O mesmo succede em Optica, quando se empregam fendas demasiado estreitas.

Cobrindo com os diaphragmas todo o arco A F, ou collocando um grande diaphragma metállico terminando á esquerda segundo a vertical em A e prolongando-se bastante para a direita, a intensidade das radiações em R deminue consideravelmente. Deslocando para a direita o resonador observa-se um máximo a uma distáncia tal, que graduando a onda em relação á nova posição do oscillador fica um único elemento á direita do novo polo.

A deminuição, que produzem em R os successivos elementos d'onda 1, 2..., é tam rápida, que alguns outros phenómenos de diffracção, como por exemplo a diffracção na sombra de um traço opaco, não se pódem observar.

Fixando o resonador em R e um dos diaphragmas sobre uma régua movel em torno do ponto O, as faíscas secundárias ora enfraquecem até se annullarem, ora têem uma intensidade superior á primitiva, quando este diaphragma se desloca ao longo da curva, de A para F. Os máximos d'intensidade correspondem ás posições 2, 4... do diaphragma, os mínimos a 1, 3, 5...

Bose (1), com o intuito de medir os comprimentos d'onda das oscillações eléctricas, empregou uma rede de diffracção constituída por uma série de fios metállicos. Uma folha delgada de ebonite encurva-se de modo a formar uma porção da superficie de um cylindro recto circular, cujas bases

(1) Bose, *Proceedings of the Royal Society;* e *Revue Générale des Sciences,* tom. II, pag. 887.

sam representadas por discos de madeira a que a ebonite se fixa. Na superficie cóncava deste cylindro fixavam-se a eguaes distáncias faixas de estanho, cuja largura variava de uma para outra rede. O diámetro da rede era de um metro.

Bose concluíu das suas experiéncias, que o espectro diffractado é linear e não contínuo.

4. Transparéncia e opacidade. Um corpo conductor de certa espessura, comporta-se a respeito das radiações eléctricas como os corpos opacos em relação ás radiações luminosas, o que de resto concorda com a theoria electromagnética da luz.

Alguns corpos, considerados como dieléctricos, deminuem a intensidade das faíscas secundárias, quando collocados entre o resonador e o oscillador..

Para observar o effeito produzido por vários dieléctricos empregou Righi um grande diaphragma metállico no centro do qual havia um buraco de poucos centímetros de diámetro, por onde passavam ondas eléctricas, que excitavam intensas faíscas no resonador.

Esta disposição tinha por fim evitar phenómenos de diffracção, que não deixariam de manifestar-se empregando pequenas láminas de dieléctricos, algumas tam difficeis de obter.

Para ver o effeito produzido por um corpo talha-se nelle uma lámina de faces parallelas, que se colloca no buraco do diaphragma, e nota-se a relação entre as amplitudes de oscillação das ondas,

que chegam ao resonador, quando atravessam o dieléctrico, e quando se propagam no ar.

Eis alguns resultados

	Espessura	Relações entre as amplitudes
Ebonite	4^{cm}	1
Paraffina	17	1
Sal gemma	5	1
Enxofre	2 ,5	0,9
Mica	0 ,17	0,9
Vidro de espelho . .	0 ,8	0,63
Pilhas de vidros de chapas photográphicas .	2	0,9
Gomma lacca . . .	1 ,5	0,8
Porcellana	0 ,5	0,7
Mármore	2	0,6
Selenite	1	0,56
Quartzo normal ao eixo	0 ,8	0,6
Vaso de ebonite com azeite	1	0,77
Vaso de ebonite com benzina	1	0,95
Vaso de ebonite com sulfureto de carbono .	1	1,96

E' notavel o enfraquecimento, que o vidro de espelho produz nas radiações e o quasi nullo produzido pelo sal gemma e pela ebonite, embora estes corpos se comportem de um modo análogo com as radiações caloríficas.

Estas experiéncias não dam a medida exacta do poder absorvente, porque nellas se empregam láminas, cuja espessura é pouco superior ao comprimento d'onda. Em vista das interferéncias entre as radiações directamente transmittidas, e as que emergem depois de ter soffrido reflexões internas,

a intensidade da radiação resultante é funcção da espessura e do índice de refracção da lámina.

Um processo para verificar, se uma lámina dieléctrica absorve realmente parte das radiações eléctricas, podia consistir em medir separadamente as intensidades das radiações incidente, reflectida e refractada, e ver se a somma das duas últimas é egual ou menór do que a intensidade da radiação incidente.

Sendo a somma menór, o corpo tem poder absorvente, porquanto parece não haver diffusão, quando se empregam láminas homogéneas de faces bem polidas.

Estas observações sam difficeis de fazer, e não dam sempre o resultado, que era de esperar.

Righi pôs em evidéncia o poder absorvente de algumas substáncias dieléctricas com experiéncias mais faceis de realizar.

O resonador e o oscillador collocam-se verticalmente.

As radiações emittidas pelo oscillador atravessam uma lámina de vidro vertical, inclinada em relação á direcção de propagação, e reflectem-se normalmente sobre uma lámina metállica, de modo que, encontrando novamente a lámina de vidro, reflectem-se parcialmente e dirigem-se ao resonador.

Se contra a lámina metállica se collocar uma lámina dieléctrica de faces parallelas, uma parte das radiações reflectem-se na sua primeira face, enquanto que a parte transmittida soffre uma ou mais reflexões internas, mas por fim todas as radiações chegam ao resonador.

Imaginemos que esta experiéncia se fazia empregando ondas luminosas; que do oscillador partia uma onda plana; que a lámina dieléctrica era transparente, e que a superficie metallica era um espelho.

Nestas condições, se a lámina fôsse perfeitamente transparente a intensidade da luz que chega ao resonador não variaría quer a lámina estivesse ou não sobre o espelho; se o não fôsse a intensidade deminuiría, quando a lámina estivesse no caminho dos ráios luminosos.

Admittindo que isto mesmo é verdade quando se empregam as ondas eléctro-magnéticas do oscillador, diremos, que o diélectrico absorve ou não as radiações segundo a sua presença deminuir ou não a intensidade das faíscas do resonador.

Na verdade, as successivas reflexões, em número infinito, que soffrem os raios luminosos no caso da experiéncia óptica, só têem logar em número limitado na experiéncia eléctrica, porque cada faísca do oscillador dá origem sòmente a um pequeno número d'oscillações. Além disto as oscillações eléctricas têem um grande amortecimento, o que se não dá nas luminosas.

Aínda assim é verosimil, que, se nesta experiéncia a lámina dieléctrica não absorver parte das radiações, as faíscas no resonador conservarám a mesma intensidade, que tinham antes de atravessar a lámina.

A experiéncia mostra na verdade, que collocando sobre a lámina metállica láminas de differentes dieléctricos umas não alteram a intensidade, enquanto outras quasi extinguem as faíscas secun-

dárias. E' por isso, que Righi considera este enfraquecimento como prova de absorpção das radiações.

Nestas experiéncias o enxofre, ebonite, selenite, paraffina e o vidro ordinário levemente esverdeado, mostram uma transparéncia perfeita.

O vidro de espelho, o mármore e a madeira sam semi-transparentes.

E' notavel a variação do poder absorvente da madeira com a inclinação das fibras a respeito da direcção das vibrações.

Póde dizer-se, que estas láminas se comportam como um retículo de fios metállicos parallelos, com a differença que a absorpção das radiações pela madeira não é total, como accontece em geral com o retículo, quando as fibras duma e os fios do outro sam parallelos ás oscillações.

Collocando o resonador e o oscillador um em frente do outro, interponha-se-lhes uma tábua de pinheiro cortada parallelamente ás fibras, de modo que estas formem com a direcção das oscillações um ángulo de 45°. Deslocando em seguida o resonador de maneira a collocá-lo em direcções parallelas ou perpendiculares ás fibras da madeira, vê-se, que as faíscas sam muito mais intensas na última, do que eram na primeira destas posições.

5. Reflexão. Muitas das experiéncias descriptas, e o proprio emprego dos espelhos parabólicos, põem em evidéncia a propriedade, que os raios eléctricos têem de se reflectir.

Hertz (1) collocou os dois espelhos do oscillador e resonador um ao lado do outro, com as aberturas voltadas no mesmo sentido, de modo que os respectivos eixos se cruzassem num ponto distante proximamente tres metros de qualquer delles.

No resonador, que evidentemente estava inactivo, appareciam faíscas, logo que no ponto de convergencia dos eixos se collocava verticalmente uma lámina quadrada de zinco, de dois metros de lado, egualmente inclinada a respeito de qualquer delles.

Se o espelho, gyrando em torno de um eixo vertical, se collocava de modo, que fizesse um ángulo de 15° com a primitiva posição, as faíscas secundárias desappareciam, o que levou Hertz á supposição que a reflexão se faz regularmente não dando logar a phenómenos de diffusão.

Collocando numa sala o oscillador, de modo que os ráios emittidos incidissem normalmente na superficie duma porta, que a separava doutra sala, onde estava o resonador com a abertura do espelho dirigida perpendicularmente á direcção dos ráios, viu Hertz, que as faíscas brotavam abundantemente, quando no ponto de convergéncia dos eixos dos dois espelhos se collocava verticalmente uma superficie metállica reflectora, inclínada de 45° a respeito de qualquer delles.

As faíscas não eram alteradas, quando se fechava a porta, mas desappareciam, quando o espelho se

(1) Hertz, *Electric Waves*, pag. 179.

desviava no plano horizontal de 10° da posição, em que fôra collocado.

Esta experiéncia demonstra a lei da egualdade dos ángulos d'incidéncia e de reflexão; a disposição dos espelhos e da superficie reflectora demonstram a segunda lei.

Nas experiéncias de demonstração pódem os espelhos cylíndricos ser substituídos por espelhos esphéricos cóncavos, como Righi demonstrou (1). Os espelhos empregados na demonstração da propagação das radiações luminosas e calorificas servem perfeitamente para este effeito.

A lámina metállica póde tambem ser substituída por uma lámina dieléctrica, de espessura consideravel em comparação do comprimento das ondas empregadas.

As oscillações pódem, como o som, transmittirem-se por meio de tubos metállicos, como tambem accontece com a luz, quando a superficie interna do tubo é reflectora.

Collocando o oscillador próximo da abertura de um longo tubo metállico apparecem faíscas no resonador, sempre que este apparelho se approxima da outra abertura, e isto quer o tubo seja recto ou constituído por partes curvilíneas de pequena curvatura, quer seja contínuo, ou formado de peças separadas, postas umas em frente das outras sem que entre ellas haja contacto.

Empregando um tubo tam longo quanto o per-

(1) Righi, *L'ottica delle Osc. Elet.*, pag. 131.
Sulle oscil. a pic. lungh. d'onda, pag. 48.

mittia o local da experiéncia, obteve Righi faíscas vivíssimas no resonador, a uma distáncia quatro vezes maior do que aquella, a que no ar as faíscas deixavam de saltar.

Se do estudo geométrico da reflexão se passa ao estudo physico das vibrações reflectidas, isto é, se em vez de estudarmos sòmente a direcção, em que se propagam, quisermos conhecer a sua intensidade e orientação, prevê-se desde já, que por meio das ondas eléctricas se ham de obter phenómenos análogos aos produzidos pela luz polarizada, visto que as oscillações eléctricas geradas pelos oscilladores estam já polarizadas por sua natureza.

As experiéncias de Righi tiveram por fim obter uma confirmação directa da theoria eléctro-magnética da luz, segundo a qual o plano de polarização deve ser parallelo á direcção da força magnética, e perpendicular á da força eléctrica.

Por outras palavras, admittindo com Fresnel que a direcção das vibrações num ráio polarizado é perpendicular ao plano de polarização, deve achar-se, que a direcção da força eléctrica corresponde á direcção das vibrações do ether na theoria de Fresnel.

Dissemos já como Trouton foi mal succedido nas suas experiéncias. Klemencic (1) propôs-se tambem

(1) Klemencic, *Wiener Berichte, januar,* 1891, pag. 109.
Wied. Ann., tom. XLV, pag. 62.
Journal de Physique, 3me série, tom. I, pag. 349.
Revue Générale des Sciences, tom. II, pag. 156.

estudar quantitativa e qualitativamente o phenómeno da reflexão das ondas eléctricas tanto nos dieléctricos como nos conductores, e procurou comparar o comportamento destas radiações com o das ondas luminosas.

As vibrações eram estudadas observando por meio de pilhas thermo-eléctricas os seus effeitos calorificos, disposição inconveniente, porquanto os fios ligados ás pilhas podiam conduzir para o resonador correntes d'inducção, encobrindo assim os phenómenos, que ahi se passam.

As superficies reflectoras de Klemencic eram constituídas por blocos de enxofre, reünídos de maneira a formar uma parede de $1^{m},20$ de altura, 80^{cm} de largo e 9^{cm} de espessura, ou por uma folha de zinco com a mesma superficie. Para estudar a reflexão metállica servíram tambem uma rede de fios de ferro, e uma lámina de zinco dobrada de modo a formar uma superficie cylíndrica.

A disposição do apparelho permittia o estudo das radiações incidentes entre 20 e 60°.

Entre a reflexão no zinco e no enxofre achára-m-se as mesmas differenças que para os ráios luminosos; a intensidade da reflexão varía com a direcção de vibração dos ráios.

Com o reflector d'enxofre obtém-se com qualquer incidéncia uma reflexão enérgica, se as ondulações fôrem perpendiculares ao plano d'incidéncia. Sendo parallelas a este plano a reflexão só é energica para pequenos valores da incidéncia; a intensidade das vibrações reflectidas deminue muito

quando a incidéncia augmenta, annullando-se por completo para um ángulo comprehendido entre 60 e 65°.

Este resultado é notavel, porque o índice de refracção de enxofre dá para valor do ángulo da polarização total um número comprehendido entre 60 e 65°.

A comparação dos resultados obtidos nestas experiéncias com os que se deduzem da fórmula de Fresnel, não permitte conclusões satisfatórias, para o que certamente contribuem as más condições da experiéncia.

Righi estudando a reflexão das ondas eléctricas á superficie dos dieléctricos empregou o enxofre, paraffina e vidro.

No caso do enxofre a superficie reflectora era uma das faces duma lámina prismática, para que as radiações reflectidas internamente não se sobreposessem ás que se reflectiam á superficie, alterando os resultados. Noutras experiéncias as radiações reflectiam-se na face maior do biprisma.

Experimentando com a paraffina, empregáram-se tambem blócos prismáticos. Neste caso a intensidade das radiações reflectidas é menór, como era de esperar, visto ser o índice de refracção da paraffina tambem menor do que o do enxofre.

Para estudar a reflexão no vidro de espelho empregou-se uma lámina de faces parallelas de 7^{mm} de espessura. Apezar de pouco espessa esta lámina dá uma reflexão enérgica. Láminas egualmente delgadas de enxofre ou paraffina quasi não refle-

ctiriam as radiações, em virtude das interferéncias entre os ráios reflectidos nas duas faces.

Os phenómenos observados, especialmente experimentando com o enxofre, fôram semelhantes aos phenómenos ópticos correspondentes.

As experiéncias sobre a reflexão metállica dam os mesmos resultados. Mas neste caso, empregando grandes incidéncias, deve haver cuidado de evitar, que os ráios reflectidos interfiram com os que attingem directamente o oscillador.

Uma lámina metállica de 40 ou 50^{cm} de lado é sufficiente para effectuar todas as experiéncias da reflexão; o ángulo d'incidéncia não deve ultrapassar 70°.

Para grandes incidéncias emprega-se uma lámina de cobre de 306^{cm} de comprido por 44 de altura, movel em torno de um eixo verticál. O oscillador e o resonador collocam-se de modo que os seus eixos de rotação passem pelo centro de figura da lámina metállica. As distáncias entre este ponto e o oscillador ou o resonador sam respectivamente de 150 e 400 centímetros.

Deste modo não ha a receiar influéncias directas do oscillador sobre o resonador, mesmo que as incidéncias sejam de 82 ou 83°.

Esta disposição experimental é particularmente própria para pôr em evidéncia a polarização ellíptica das vibrações reflectidas, o que completa a analogia com os phenómenos ópticos.

O oscillador colloca-se de modo, que o seu eixo de figura fique inclinado de 45° sobre a vertical, e escolhe-se um ángulo de incidéncia de 81° pro-

ximamente, que é o valor do ángulo de polarização. No resonador vêem-se saltar faíscas qualquer que seja a sua inclinação, o que não acconteceria se as vibrações fossem rectilíneas, pois neste caso uma pequena discordáncia entre as inclinações dos eixos de figura do resonador e do oscillador sería sufficiente para que as faíscas secundárias se extinguissem.

Fazendo gyrar o resonador em torno do próprio eixo, de modo a descrever um círculo completo, vê-se que a intensidade das faíscas varía, passando por dois máximos e dois mínimos, correspondentes a posições do oscillador distantes 90° umas das outras.

As posições do eixo de figura do oscillador, quando as faíscas sam máximas ou mínimas, dam as direcções dos eixos de vibração ellíptica.

Inclinando mais o oscillador, de modo que faça com a vertical um ángulo maior, de 59° proximamente nas experiéncias de Righi, a intensidade das faíscas no resonador torna-se constante, qualquer que seja a sua orientação, quando o ángulo d'incidéncia das vibrações sobre a superficie reflectora é egual ao ángulo de polarização.

Neste caso a vibração reflectida converte-se em vibração circular.

A maneira differente como a madeira transmitte as vibrações eléctricas segundo que a sua direcção é parallela ou perpendicular ás fibras, levou Righi a verificar, se havia differenças análogas na reflexão das ondas á superficie deste corpo.

Nestas experiéncias empregáram-se parallélipí-

pedos de pinheiro com duas faces talhadas perpendicularmente á direcção das fibras. As faces parallelas ás fibras sam quadradas, e têem 40^{cm} de lado, as outras arestas têem 5,7 ou 11,4 centímetros de comprimento.

A reflexão tem logar numa das faces maiores; as fibras sam umas vezes verticaes outras horizontaes, isto é, perpendiculares ou parallelas ao plano de reflexão.

Medindo os ángulos de que era preciso fazer gyrar o resonador para que as faíscas se extinguissem, reconheceu-se, que a reflexão depende da direcção das fibras.

Empregando um dos parallelipípedos de 11,4^{cm} de espessura e sendo de 45° o ángulo de incidéncia das radiações, obteve Righi os seguintes resultados:

Se o oscillador tem o eixo horizontal, sendo portanto as vibrações incidentes parallelas ao plano de reflexão, a madeira reflecte melhor quando as fibras sam horizontaes do que quando sam verticaes. A relação entre as amplitudes é neste caso 1,15.

Estando o oscillador verticál, as vibrações incidentes sam perpendiculares ao plano de reflexão, e neste caso a madeira reflecte melhor quando as fibras sam verticaes. A relação entre as amplitudes é 1,36.

O phenómeno é, como se vê, inverso e mais bem accentuado neste caso.

Um retículo de fios metállicos parallelos comportar-se-ha como a madeira, com a differença de não haver radiações reflectidas nos casos em que com a madeira observa uma deminuïção d'inténsidade.

Parece, pois, que o comportamento especial da madeira deve attribuír-se principalmente á circunstância de ser maiór a conductibilidade no sentido das fibras do que nas direcções perpendiculares.

Uma lámina de selenite, cujas faces sejam parallelas á clivagem principal, tem para com as radiações reflectidas, um comportamento análogo ao da madeira.

Sendo a incidéncia de 45° uma lámina circular de $11^{cm},5$ de diámetro a $3^{cm},5$ de espessura, reflecte com mais inténsidade quando as vibrações eléctricas incidentes sam parallelas á direcção da clivagem secundária não fibrosa, do que quando as mesmas vibrações sam perpendiculares a esta direcção.

6. Refracção simplez e reflexão totál. Dispersão. Com o fim de estudar os phenómenos da refracção das ondas eléctromagnéticas empregou Hertz (1) um prisma de asphalto, cuja base era um triángulo isósceles.

O lado maior tinha $1^{m},2$ e o ángulo opposto era de 30°.

Collocando o oscillador a $2^{m},6$ do prisma de modo que as radiações incidissem numa das suas faces debaixo de um ángulo de 25°, no resonador não appareciam faíscas, quando este apparelho se collocava no prolongamento dos ráios emanantes do oscillador.

(1) Hertz, *Electric Waves*, pag. 181.

Deslocando o resonador sobre uma circunferéncia descripta do centro da base do prisma, via-se que as faíscas appareciam, mas com pouca inténsidade, a 11° da posição primitiva, eram máximas a 22°, e em seguida deminuíam para desapparecer por completo a 34°.

Um observador collocado entre o oscillador e o prisma, ou entre o prisma e o resonador, interrompe as faíscas secundárias, o que prova bem que as radiações atravessam o prisma.

Esta experiéncia dá para índice de refracção do asphalto 1,69.

Lodge e Howard (1) substituíram o prisma por uma lente cylíndrica plano-convexa, e observáram a concentração das ondas na vizinhança do fóco.

Empregando pequenos comprimentos d'onda, o que permitte reduzir as dimensões dos prismas, conseguiu Righi (2) determinar o índice de refracção de alguns dieléctricos. Assim foram achados os seguintes valores: paraffina 1,43, enxofre 1,87; asphalto 1,6.

Como na reflexão, as radiações eléctricas, quando refractadas, comportam-se como a luz polarizada; aínda se reconhece neste caso, que a força eléctrica é perpendicular ao plano de polarização.

Como no caso da luz uma única lámina de faces parallelas dá phenómenos pouco nítidos, mas aínda assim sensiveis.

(1) Lodge and Howard, *Philosophical Magazine*, tom. XXVII, pag. 48.

(2) Righi, *L'ottica delle oscillazioni elettriche*, pag. 153. *Sulle oscillazioni, etc.*, pag. 65.

Basta pôr entre o resonador e o oscillador uma lámina dieléctrica, e incliná-la de maneira que as radiações a encontrem obliquamente, para que se possa reconhecer, que as radiações transmittidas sam mais inténsas quando as vibrações incidentes sam parallelas ao plano de refracção, do que quando lhe sam perpendiculares.

Da mesma maneira se reconhece, que as vibrações soffrem uma rotação, quando ao longo do ráio incidente têem uma direcção intermédia àquellas duas.

Os effeitos augmentam, como em Óptica, quando em vez duma se collocam entre o oscillador e o resonador várias láminas dieléctricas parallelas. A um destes systemas póde chamar-se *pilha de láminas,* do mesmo modo que em Optica se chamam pilhas de vidro ou de mica, aos systemas análogos empregados como polarizadores ou analysadores da luz.

Tres láminas parallelas de paraffina collocadas verticalmente entre o oscillador e o resonador, de modo que o ángulo d'incidéncia seja de 55°, que é o ángulo de polarização desta substáncia, dam effeitos muito evidentes.

Collocando o oscillador de maneira que as vibrações eléctricas sejam perpendiculares ao plano de refracção, as faíscas no resonador sam pouco intensas, mostrando-se pelo contrário muito vivas quando, fazendo gyrar de 90° o oscillador e o resonador, se tornam as vibrações parallelas ao plano de refracção.

Collocando o oscillador de modo que o seu eixo de figura faça com a vertical um ángulo de 45°, e

procurando com o resonador o azimúth das vibrações, que atravessam as láminas, reconhece-se que ellas fazem com o plano de refracção um ángulo menór do que 45°. As vibrações approximam-se portanto do plano de refracção, como acontece na experiéncia correspondente d'Optica.

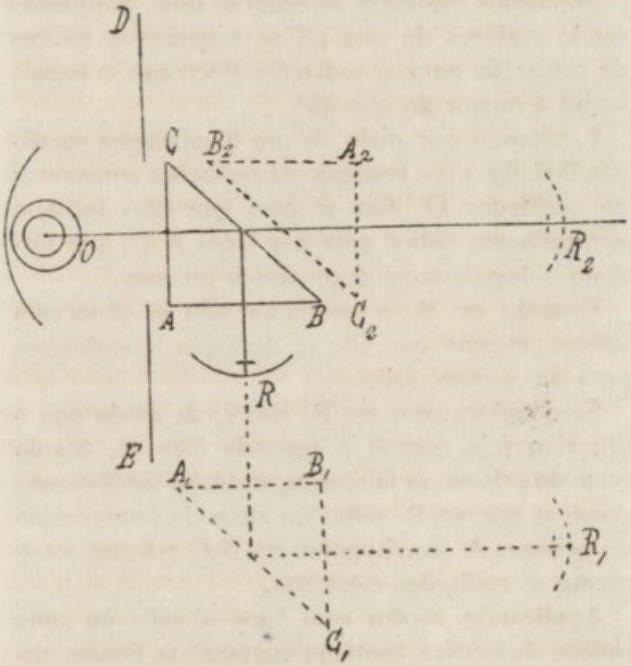

Fig. 11

Se em vez de tres se empregarem sete ou oito láminas de paraffina, as vibrações perpendiculares ao plano de refracção extinguem-se por completo,

como o prova a inactividade dos resonadores mesmo os mais sensiveis.

Como se sabe, conhecido o índice de refracção de uma substância, é facil calcular o respectivo ángulo limite.

Prismas de enxofre ou de paraffina tendo por secção um triángulo rectángulo isósceles dam phenómenos evidentes de reflexão totál, porquanto sendo maióres do que $\sqrt{2}$ os respectivos índices de refracção para as radiações eléctricas, o ángulo limite é menór do que 45°.

Limitando por meio de um diaphragma metállico D E (fig. 11) o fascículo de radiações emanantes do oscillador O, faça-se com que ellas incidam normalmente sobre uma das faces A C, que fórmam o ángulo recto dum destes prismas.

Estando em R_2 o resonador não se observam faíscas, mesmo que elle se desloque lateralmente para um e outro lado.

Se o collocarmos em R, isto é, de modo que o seu eixo seja normál á segunda face do ángulo recto do prisma, as faíscas mostram-se tam inténsas como as que em R_2 saltavam antes da interposição do prisma. A face hypotenusa B C reflecte totalmente as radiações eléctricas.

Applicando contra esta face a mão ou uma lámina dieléctrica bastante espessa, as faíscas enfraquecem, porque a reflexão deixa de ser total.

Póde empregar-se um segundo prisma A_1 B_1 C_1 o qual faz com que, em seguida a uma segunda reflexão total, as faíscas tomem uma direcção parallela á que têem, quando sáem do oscillador.

Um resonador agora collocado em R_1 deixa ver faíscas tam vivas, como as que mostrava em R antes do emprego do segundo prisma.

Observam-se phenómenos interessantes collocando adiante do prisma A B C outro prisma egual A_2 B_2 C_2, de modo que ambos possam formar um parallelipípedo rectángulo, quando as duas faces hypotenusas estejam em contacto.

Se as faces B C e B_2 C_2 estam bastante afastadas, as faíscas saltam em R com a mesma intensidade, e R_2 conserva-se inactivo. Deminuíndo pouco a pouco a distáncia entre os dois prismas, a intensidade das faíscas em R deminue, á proporção que em R_2 apparecem faíscas, que augmentam gradualmente d'intensidade. Quando os prismas estam muito próximos as faíscas de R desapparecem, e as de R_2 sam muito intensas. Os dois prismas, embora não estejam em contacto, comportam-se como um meio homogéneo de faces parallelas.

Empregando ondas cujo comprimento seja de $10^{cm},6$ nota-se, que o segundo prisma começa a ter influéncia no primeiro, quando a distáncia entre B C e B_2 C_2 fôr de $5^{cm},3$.

Resulta desta experiéncia, que nos phenómenos de reflexão e refracção, que têem logar na superficie de dois corpos differentes, tomam parte ambos os corpos em uma espessura, que no caso desta experiéncia é pelo menos de meio comprimento d'onda.

Quincke (1) demonstrou que em Óptica se observa um phenómeno semilhante, quando se

(1) Quincke, *Pog. Ann.*, tom. CXXVII, pag. 1-129.

ligam pelas faces hypotenusas dois prismas de vidro de reflexão totál.

Demonstra-se tambem a reflexão total das oscillações eléctricas imitando o phenómeno óptico das fontes luminosas.

Serve para isso um grosso cylindro recto de paraffina, encurvado numa das extremidades de modo a formar um quarto de toro.

Collocando o oscillador e o resonador em frente das bases do cylindro via-se, que neste apparelho saltavam intensas faíscas, apezar das oscillações terem percorrido na paraffina uma distáncia muito maiór do que aquella em que no ar não eram já capazes de excitar o resonador.

Applicando a mão ou outros corpos extranhos na parte curva do bloco de paraffina as faíscas cessam immediatamente.

Do mesmo modo que em Óptica, póde-se pela reflexão totál obter ráios eléctricos polarizados ellíptica ou circularmente.

Righi construíu dois prismas um de enxofre e outro de paraffina com que demonstrou mais esta analogia, aliás facil de prever, entre as duas espécies de radiações.

Hertz, Righi e outros experimentadores não conseguiram empregando prismas dieléctricos de asphalto, enxofre, paraffina, petróleo, etc., observar o mais pequeno indício de dispersão das radiações eléctricas refractadas.

Era isto de prever na theoria de von Helmholtz, segundo a qual a dispersão provém das ondas do ether communicarem ás moléculas do meio refrin-

gente vibrações, que se effectuam com um período determinado, que lhes é próprio, como se as moléculas servissem de resonadores para aquellas ondas.

Vê-se pois, que não havendo resonáncia entre as moléculas dos corpos e as ondas eléctro-magnéticas tambem não terá logar a dispersão, mas que ella

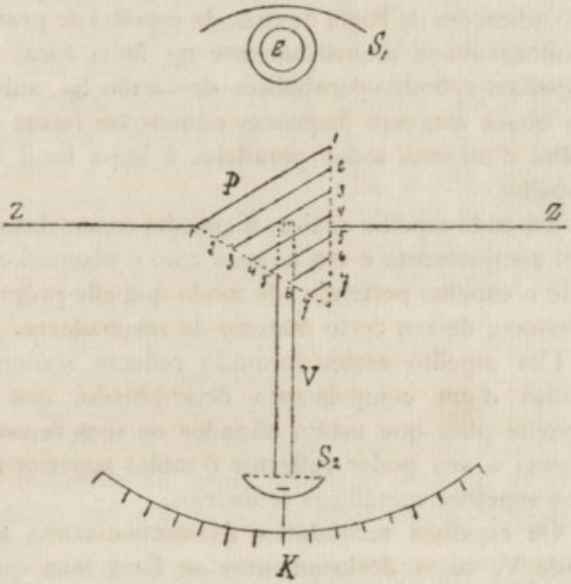

Fig. 12

se poderia obter, caso um oscillador emittisse na verdade ondas de differentes comprimentos, com um prisma formado de resonadores.

Garbasso e Aschkinass (1) realizáram experiéncias com o fim de verificar este modo de ver.

O excitador E (fig. 12) empregado era construido segundo os modelos de Righi; collocava-se no fóco dum espelho de latão S_1 de 14^{cm} de distáncia focál e 50^{cm} de diámetro de abertura.

O comprimento das ondas emittidas por este apparelho era de $7^{cm},5$.

Os resonadores eram tres, feitos tambem segundo as indicações de Righi de tiras de espelho de prata. Collocavam-se alternadamente na linha focál de espelhos cylindro-parabólicos de cartão S_2, sobre os quaes estavam dispostas numerosas faixas de folha d'estanho todas parallelas á linha focál do espelho.

Em cada espelho as tiras d'estanho concordavam em comprimento e em largura com o resonador a que o espelho pertencia, de modo que elle próprio constava de um certo número de resonadores.

Um espelho assim formado reflecte sòmente ondas d'um comprimento determinado, que é aquelle para que estám afinados os seus resonadores; o seu poder reflector é muito superior ao dos espelhos metállicos ordinários.

Os espelhos secundários fixavam-se numa alidade V, cujos deslocamentos se liam num quadrante graduado K.

O prisma P constava de sete láminas de vidro com 35, 30, 25, 20, 15, 10 e 5^{cm} de largura.

(1) Garbasso e Aschkinass, *Naturwissenschaftliche Rundschau*, tom. IX, pag. 429.

Em cada uma destas láminas fixávam-se numerosos resonadores dispostos em doze séries parallelas, sendo cada um delles constituído por faixas d'estanho com $1^{cm},5$ de comprido por $0^{cm},2$ de largo.

A distáncia entre duas séries contíguas era de um centímetro, e a de dois resonadores contíguos da mesma série $1^{cm},3$.

O número de resonadores de cada série variava de uma para outra lámina sendo respectivamente em cada uma dellas: 21, 18, 15, 12, 9, 6, 3.

O prisma collocava-se de maneira que o lado maiór dos resonadores ficasse vertical, isto é, parallelo á direcção da vibração. A sua posição não variava de umas experiéncias para as outras, e era tal, que o ángulo d'incidéncia das vibrações era de 40°, e a distáncia média do excitador á face do prisma para elle voltada 18^{cm}.

A' direita e á esquerda do prisma dois diaphragmas de zinco Z impediam, que as ondas do excitador actuassem directamente sobre o resonador.

A experiéncia consistia em determinar á direita e á esquerda do ponto médio as posições do resonador, em que as faíscas secundárias desappareciam.

As differentes séries d'observações não concordavam bem entre si. Cada série constava de doze observações, no que se gastava termo médio um quarto d'hora, tempo excessivamente grande para que o oscillador funccionasse unifórmemente. Mas em todas as experiéncias o phenómeno seguia a mesma ordem.

Com os resonadores de 3, 4 e 6 centímetros acháram-se para desvios médios 9° 6′, 7° 8′ e 5° 24′ o que indíca, que a refrangibilidade das radiações eléctricas cresce com o comprimento d'onda, como acontece com a luz e com o calor.

Segundo estas experiéncias, parece que o fascículo de radiações emanantes de um oscillador eléctrico se póde comparar a um fascículo de luz branca.

7. Dupla refracção. O phenómeno da dupla refracção das ondas eléctro-magnéticas foi pela primeira vez posto em evidéncia pelas experiéncias de Righi (1) em 1894. O corpo empregado foi a madeira de pinho, que se comporta para com as radiações eléctricas como um crystal birefringente para com a luz.

Mack (2) occupou-se tambem em determinar os índices de refracção da madeira e em obter meios artificiaes dotados de dupla refracção.

Nas suas experiéncias empregou um apparelho análogo ao de Hertz, que collocava numa extremidade duma mêsa estreita de tres metros de comprido; na outra extremidade havia uma parede vertical de lata.

(1) Righi, *Mem. della R. Acc. di Bologna*, ser. 5.ª, tom. IV, pag. 487.
L'ottica della oscillazioni elettriche, pag. 168.
(2) Mack, *Wied. Ann.*, tom. LIV, pag. 342.
Journal de Physique, 3me ser., tom. IV, pag. 567.
Nature, tom. LI, pag. 423.

A linha focál do excitador distava dois metros desta parede; os nós e os ventres do systema de ondas estacionárias por ella produzidas eram examinados com resonadores de Righi.

As posições dos nós e dos ventres marcavam-se a gís sobre a mesa; o comprimento do entre-nó dava para comprimento d'onda 66 centímetros.

Encostando á superficie metállica reflectora tábuas de pinho de 10^{cm} de espessura, os nós e os ventres mudam de posição.

Do comprimento do entre-nó nos differentes casos deduziu-se para comprimentos das ondas na madeira $37^{cm},7$ sendo as fibras horizontaes, e $30^{cm},7$ sendo as fibras verticaes.

Tendo Mack verificado, que a reflexão na face anterior da tábua não influe nos resultados encontrados, admittiu como se faz em Óptica, a differença de marcha dos dois ráios, indicando os números 1,77 e 0,15 para valores dos índices de refracção da madeira.

Como é de vêr, estes números sam sòmente approximados, porque o méthodo comporta pouca precisão.

As experiéncias de Righi sam mais rigorosas.

Collocando entre o resonador e o oscillador uma tábua de pinho, de modo que as suas fibras fiquem inclinadas de 45° sobre o eixo de figura deste último apparelho, reconhece-se em geral, fazendo gyrar de 360° o resonador em torno do respectivo eixo de rotação, que as faíscas nunca se extinguem por completo mas que apresentam um máximo e

um mínimo d'inténsidade correspondentes a duas posições orthogonaes do resonador.

As ondas eléctricas, que nesta experiéncia sahem da madeira, vêem polarizadas ellipticamente.

A madeira comporta-se pois para com as ondulações eléctricas, como uma lámina birefringente quando atravessada por um ráio de luz polarizada rectilìneamente.

Repetindo a experiéncia depois de no próprio plano ter feito gyrar de 45° a tábua de madeira, de modo que as suas fibras se tornem parallelas ou perpendiculares ao oscillador, os ráios emergentes conservam a polarização rectilìnea.

Collocando o resonador perpendicularmente ao oscillador, e fazendo a tábua descrever um círculo no próprio plano, acham-se duas direcções das fibras, perpendiculares entre si, para as quaes o resonador se conserva inactivo, como se a madeira não existisse, e duas outras a 45° com as primeiras, para as quaes se observam faíscas muito intensas.

Traçando na tábua as direcções parallelas ao oscillador, quando no resonador não ha faíscas, obtêem-se duas rectas perpendiculares, que como em Optica se pódem chamar *linhas d'extincção*.

Uma d'estas linhas é parallela e a outra perpendicular ás fibras.

Quando o oscillador não fôr parallelo a qualquer das linhas d'extincção as radiações emergentes sam em geral polarizadas ellipticamente.

A excentricidade das ellipses depende da expessura da tábua.

Supponhamos outra vez as fibras da madeira orientadas de maneira a formarem um ángulo de 45° com o eixo de figura do oscillador. Se a tábua fôr delgada, se por exemplo tiver 3^{cm} de espessura, a ellipticidade é pequena e o azimúth do eixo maiór da ellipse vem pouco inclinado sobre a primitiva direcção das vibrações.

Augmentando gradualmente a espessura da madeira a ellipse torna-se menos excéntrica, o que se reconhece pela deminuïção da differença entre as inténsidades das faíscas secundárias, quando o resonador se colloca segundo os eixos maiór ou menór da ellipse. O eixo maiór tende ao mesmo tempo a tomar uma posição normal ás fibras, posição que adquire sensivelmente, quando a tábua tem $13^{cm},7$ de espessura.

Deminuindo então o ángulo, que as oscillações incidentes fazem com a direcção das fibras, dando-lhe um valor de 22° proximamente, não se observam differenças d'intensidade nas faíscas do resonador, qualquer que seja o azimúth, em que elle se colloque; as vibrações emanantes da madeira estám pois polarizadas circularmente.

Uma tábua de madeira de pinheiro com $13^{cm},7$ de espessura é tal, que a differença de phase entre as duas componentes da vibração incidente, tomadas segundo as linhas d'extincção, é de $\frac{\pi}{2}$; póde portanto considerar-se como uma lámina de quarto d'onda.

Tábuas mais grossas, de 17^{cm} de espessura por exemplo, produzem novamente a polarização elli-

ptica, como aconteceria em Optica na experiéncia correspondente.

Com o emprego de ondas eléctricas de pequeno comprimento conseguiu-se pôr em evidéncia phenómenos de dupla refracção das ondas eléctricas produzida por corpos crystallizados.

Garbasso (1) serviu-se nas suas experiéncias dos apparelhos de Righi. O oscillador e o resonador collocavam-se em planos perpendiculares, de maneira que nenhuma faísca se podia observar neste último apparelho.

Garbasso examinou o comportamento de um crystál de espatho d'Islándia, de uma lámina de mica, e de tres láminas de gesso, cujas espessuras eram respectivameete de $1^{cm},2$, $3^{cm},5$ e 4^{cm}.

As experiéncias deram resultados particularmente nítidos com as láminas de gesso mais grossas, que permittíram verificar, que estes phenómenos sam regulados pelas mesmas leis, que regulam os phenómenos ópticos correspondentes.

Por serem pequenas as láminas empregadas, usou-se duma chapa de ferro furada ao meio, com a fórma de um octógono regular, que servia de diaphragma e ao mesmo tempo de supporte das differentes láminas. A chapa collocava-se perpendicularmente á direcção das oscillações; fazendo-a appoiar successivamente sobre cada um dos lados do polygono imprimia-se de cada vez á lámina uma rotação de 45°.

(1) Garbasso, *Atti della R. Acc. della Scie. di Torino*, tom. xxx, pag. 708.

De maiór interesse sam as experiéncias de Lebedew (1), que conseguiu obter ondas eléctricas tendo apenas $0^{cm},6$, cuja bifurcação é já possivel em pequenos crystaes birefringentes.

O conductor primário era formado por dois cylindros de platina de $1^{mm},3$ de comprimento e $0^{mm},5$ de diámetro, encerrados em tubos de vidro, e collocados na linha focál de um espelho cylindro-circular de 20^{mm} de altura, 12 de abertura e 6 de distáncia focál. Todas estas peças estavam mergulhadas num banho de petróleo, donde saíam as ondas por uma janella de quartzo.

Os raios emanantes do oscillador eram concentrados por um segundo espelho cylindro-parabólico sobre dois resonadores rectilíneos, cuja excitação era indicada pelo processo thermo-eléctrico de Klemencic.

O oscillador e o resonador montados sobre um goniómetro estavam na maiór parte das experiéncias a 10^{cm} de distáncia um do outro.

Com este apparelho realizam-se muito facilmente todas as experiéncias fundamentaes d'Hertz.

No estudo da refracção símplez empregou-se um pequeno prisma d'ebonite com $1^{cm},8$ de altura e $1^{cm},2$ de largura na face maiór, pesando apenas 2 grammas.

Egualmente símplez eram as experiéncias de dupla refracção, mesmo quando se empregavam meios crystallizados; o enxofre orthorhómbico foi

(1) Lebedew, *Wied. Ann.*, tom. LVI, pag. 1.
Journal de Physique, 3me ser., tom. IV, pag. 568.

dos corpos examinados, o que deu melhores resultados.

Boltzmann tinha achado nestes crystaes tres eixos de dielèctricidade máxima, mínima e média. Dois prismas eguaes com $1^{cm},8$ de altura e $1^{cm},3$ de largura, e com um ángulo refringente de 25°, foram talhados em dois crystaes eguaes e bem desenvolvidos d'enxofre, de modo que a aresta do primeiro fosse parallela ao eixo de maior dielèctricidade, e a do segundo ao eixo de dielèctricidade mínima.

Os índices de refracção dos dois prismas eram respectivamente eguaes a 2,2 e 2.

Comparando estes números com os deduzidos da fórmula de Maxwell, vê-se, que elles concordam sensivelmente, porquanto as raizes quadradas das constantes dieléctricas achadas por Boltzmann sam respectivamente 2,18 e 1,95.

Dos índices de refracção achados póde calcular-se o ángulo de reflexão total sobre a ebonite para os índices médios de refracção do enxofre, e construír um Nicol para ráios eléctricos.

Num parallelipípedo d'enxofre orthorhómbico, cujas arestas eram parallelas aos eixos de dielèctricidade, fez-se uma secção plana passando pelo eixo de máxima, e fazendo um ángulo de 50° com o eixo de mínima dielèctricidade. Entre as duas metades intercallou-se uma lámina de faces parallelas d'ebonite.

Um ráio, que incída na direcção do eixo de dielèctricidade média, divide-se em dois, um dos quaes se reflecte totalmente na lámina d'ebonite, de modo que só o outro é transmittido.

Com este Nicol pódem repetir-se as experiéncias que em Optica se fazem com os Nícoes de espatho d'Islándia.

Lebedew talhou tambem uma lámina de enxofre de 6^{mm} de espessura, que continha no seu plano os eixos de dielèctricidade máxima e mínima, perfeitamente análoga ás láminas ópticas de quarto d'onda.

Bose (1) tentou tambem verificar, se os crystaes, que deviam ser birefringentes para os ráios luminosos, o sam tambem para as radiações eléctricas, que elle obtinha por meio de um pequeno carrete de Rhumkorff encerrado n'uma caixa metállica, e fazendo saltar a faísca entre duas pequenas espheras, contidas na extremidade de um tubo de latão com 25^{cm} de comprimento, soldado numa das paredes da caixa.

Na outra extremidade deste tubo estava o polarizador constituido por uma grelha de finos fios de cobre.

O analysador era semelhante ao polarizador, e podia andar á roda dentro do tubo receptor, que tambem continha o receptor das ondas em communicação com um galvanómetro.

O polarizador e o analysador cruzados não deixavam passar as radiações, e por isso o galvanómetro estava no zero.

Intercalando ás duas grelhas um grande crystal de beryllio, que é opaco para a luz, de modo que

(1) Bose, *Journal of the Asiatic Society of Bengel*, tom. LXIV, pag. 291.

Naturw. Rundschau, tom. XI, pag. 191.

a secção principal fosse perpendicular ao seu plano, o galvanómetro soffria um desvio. Andando á roda com o crystal o galvanómetro voltava ao zero todas as vezes, que a sua secção principál era parallela aos planos do analysador ou do polarizador. Se os ráios incidiam na direcção do eixo, o galvanómetro permanecia immovel, mesmo que ao crystal se imprimisse um movimento de rotação.

Crystaes de apatite, nemalite, baryte e microlina, mostráram-se egualmente birefringentes. Um grande crystal de sal gemma era inactivo.

Deram tambem óptimos resultados as experiéncias com a turmalina preta; os dois ráios refractados eram desegualmente absorvidos, sem que todavía nenhum delles se chegasse a extinguir, talvez por não serem os crystaes sufficientemente espessos.

Righi observou tambem a acção dos meios crystallizados sobre os ráios de força eléctrica.

As láminas a observar collocavam-se no meio de um grande diaphragma metállico, a fim de evitar a acção directa do oscillador sobre o resonador.

Em primeiro logar Righi empregou uma grande lámina de selenite com as faces de clivagem natural, com 3 a 5^{cm} de espessura; depois de se certificar, examinando-a entre Nícoes cruzados, que a lámina pertencia a um só crystal, talhou-a em fórma de cylindro circular recto com 11 centímetros de diámetro.

Procurando e traçando na lámina as linhas de extincção ópticas e electro-magnéticas, reconheceu-se, que estas direcções, proximamente perpen-

diculares entre si quando se empregam sòmente as radiações luminosas ou as oscillações eléctricas, não concordam umas com as outras.

Numerosas experiéncias, em que se empregáram várias láminas de gesso egualmente talhadas, mostráram, que uma linha d'extincção dum dos systemas faz com as do outro ángulos variaveis, mas sempre comprehendidos um entre 36 e 40°, e portanto o outro entre 54 e 50°.

Esta não coïncidéncia entre as direcções d'extincção das ondas luminosas e das ondas electro-magnéticas era de prever, porquanto se sabe, que as linhas d'extincção óptica sam as bissectrizes dos ángulos dos eixos ópticos, e que no gesso a sua posição varía com o comprimento d'onda das radiações. Não é pois de admirar, que as linhas d'extincção relativas ás ondas de $10^{cm},6$ de comprimento não coïncidam com as que correspondem ás pequeníssimas ondulações luminosas.

Como se sabe, o gesso crystalliza no systema monoclínico e apresenta tres clivagens distinctas; uma muito facil, a clivagem principál, e duas outras mais difficeis, ás quaes chamaremos respectivamente clivagem fibrosa e conchoidal, em virtude do aspecto, que apresentam as superficies da clivagem nestas duas direcções.

O ángulo, que uma das linhas d'extincção óptica faz com a perpendicular á direcção da clivagem conchoidal, é, desprezando fracções, de 38°.

Observando as linhas d'extincção relativas ás ondas electro-magnéticas, que foram traçadas nas diversas láminas de gesso, nota-se, que uma dellas

é sensivelmente parallela áquella direcção. A outra, por lhe ser perpendicular, coïncidirá portanto com um dos eixos crystallinos existentes no plano de symetría do crystal.

Esta coïncidéncia, que não se verifica empregando ondas luminosas, parece indicar, que a dupla refracção das ondas electro-magnéticas está mais intimamente ligada com as propriedades crystallográphicas do que a dupla refracção das ondas luminosas.

Este resultado precisa porém de uma larga confirmação experimental, não só porque Righi empregou ondas sempre do mesmo comprimento, mas tambem porque experiéncias mais rigorosas mostram, que a concordáncia entre uma das linhas de extincção e um dos eixos crystallográphicos, ou entre a outra linha e a direcção de clivagem conchoidal é apenas apparente. O ángulo que estas rectas fazem entre si é termo médio de 1° e 18′.

Como em Optica, as ondas emanantes do oscillador atravessando uma lámina birefringente polarizam-se em geral ellipticamente, se qualquer das direcções d'extincção não fôr parallela ás vibrações incidentes.

Este phenómeno póde estudar-se repetindo com uma lámina de gesso, por exemplo, as experiéncias, que põem em evidéncia a polarização ellíptica produzida pela madeira.

Como as de madeira de $13^{cm},7$ uma lámina de gesso de $2^{cm},5$ de espessura é comparavel ás láminas ópticas de quarto d'onda.

Augmentando pouco a pouco a grossura das láminas collocadas entre o resonador e o oscillador reconhece-se, que, quando ellas attingem uma espessura comprehendida entre 5 e 6^{cm}, as vibrações emanantes da lámina sam novamente rectilíneas. A uma lámina destas póde pois, como em Optica, dar-se o nome de lámina de meia onda.

Como dissemos, Righi achou, que no gesso um dos eixos do ellipsoide de elasticidade para as ondas electro-magnéticas é sensivelmente parallelo á clivagem conchoidal, outro coïncide com o eixo de symetría do crystal, e finalmente, que o terceiro quasi coïncide com um dos eixos crystallográphicos existentes no plano da clivagem principal.

Representando por n_1, n_2, n_3, os índices de refracção correspondentes, e por L_1, L_2, L_3, láminas de gesso cujas faces sejam respectivamente perpendiculares aos tres eixos do ellipsoide, vê-se, que nas experiéncias descriptas sòmente se empregáram láminas L_2.

Com uma dellas se achou que a differença entre os índices n_1 e n_3 tem um valor comprehendido entre 0,88 e 1,06, suppondo que as láminas de 5 a 6^{cm} de espessura se comportam como láminas de quarto d'onda.

Para conhecer melhor o conjuncto de phenómenos de dupla refracção produzidos pelo gesso, Righi repetiu as suas experiéncias com láminas L_1 e L_3.

O comportamento das láminas L_3, perpendiculares á clivagem principal, e parallelas á clivagem conchoidal, é quasi idéntico ao das láminas L_2.

A espessura, que devem ter as láminas L_3 para que se comportem como láminas de quarto d'onda, está tambem comprehendida entre 5 e 6^{cm}.

As differenças $n_1 - n_2$ e $n_1 - n_3$ sam quasi eguaes, e portanto o índice n_2 relativo ao eixo de symetría approxima-se muito do índice n_3 relativo ao eixo perpendicular á clivagem conchoidal. A differença entre os dois índices é tam pequena, que Righi chegou a suppô-los eguaes.

Esta hypóthese não é verdadeira, como se demonstra sobrepondo duas laminas L_2 e L_3 da mesma espessura, de modo que a direcção da clivagem conchoidal da primeira fizesse um ángulo recto com a clivagem correspondente da segunda, e collocando-as entre o oscillador e o resonador de maneira que qualquer destas direcções fizesse um ángulo de 45° com a direcção das vibrações incidentes. As faíscas, embora pouco intensas, apparecem no resonador, o que não succederia se a dupla refracção produzida pelas duas laminas fosse egual.

Para que as faíscas secundárias desappareçam, deve a lamina L_2 ser mais delgada um pouco que a lamina L_3. Righi obteve este effeito quando estas espessuras eram respectivamente de 2,9 e 3 centímetros.

O ellipsoide de elasticidade embora seja de tres eixos approxima-se bastante de um ellipsoide de revolução em torno dum eixo parallelo á direcção da clivagem conchoidal.

Estando o valor $n_1 - n_3$ comprehendido entre 0,88 e 1,06 resulta desta última experiéncia, que a

differença $n_2 - n_3$ deve estar entre 0,03 e 0,04. Para que uma lámina L_1 se comporte como uma lámina de quarto d'onda, deve portanto ter uma espessura comprehendida entre 150 e 180 centímetros.

A experiéncia parece confirmar esta previsão, porquanto uma lamina L_1 de 3^{cm} produz, quando collocada entre o resonador e o oscillador, o mesmo effeito que uma lamina L_2 ou L_3, que tivesse apenas um millímetro de espessura.

Righi promette continuar as suas investigações com o proposito de demonstrar para o gesso a egualdade dos índices n_2 e n_3, e a concordáncia das direcções correspondentes aos eixos ópticos, isto é, com o fim de demonstrar, que o gesso se comporta para com as oscillações electro-magnéticas como os crystaes uniaxiaes para com a luz.

É bem de esperar, que este trabalho seja baldado, porque caso Righi conseguisse demonstrar com rigor a sua hypóthese, esse facto alteraria por completo as ideas, que hoje em dia temos sobre as propriedades dos meios crystallizados.

8. Experiéncias, que não déram resultado. Outras experiéncias foram tentadas mas sem resultado. Assim o vidro comprimido até á pressão de 547 chilogrammas por centímetro quadrado, não produz, como em Optica, a dupla refracção das ondas electro-magnéticas. O mesmo diremos do mármore e das tábuas de pinheiro, cujas faces eram perpendiculares ás fibras.

Um disco de quartzo dextrogyro, talhado perpendicularmente ao eixo, não polariza rotatòriamente as oscillações eléctricas. Uma camada de alguns decímetros de espessura de esséncia de terebentina não deu melhores resultados.

Righi tentou finalmente obter com as ondas electro-magnéticas um effeito análogo ao phenómeno de Kerr, fazendo reflectir as radiações num polo de um electro-magnete, mas os resultados obtidos não fôram decisivos.

Estes resultados negativos não invalidam de modo algum a theoria electro-magnética da luz; mostram apenas, que alguns effeitos sam inapreciaveis, quando o comprimento das ondas empregadas ultrapassa certos limites.

O mau resultado das tentativas de polarização rotatória era até mesmo de prever, em virtude das leis de Biot.

Uma lámina de quartzo, que, segundo a fórmula de Boltzmann, produz uma rotação de 884° do plano de polarização da luz da risca D, produzirá uma rotação de uma pequena fracção do grau do plano de polarização de ondas, cujo comprimento seja de $10^{cm},6$, como eram as empregadas nas experiéncias de Righi.

ÍNDICE

CAPÍTULO III

RAIOS DE FORÇA ELÉCTRICA

CORRIGENDA

Pag.	Lin.	Erros	Emendas
7	5	luminosas	eléctricas
15	4	elcétricas	eléctricas
15	21	etectricidade	electricidade
18	8	elctriza	electriza
23	1	Wiedmann	Wiedemann
23	25	exergam	enxergam
26	22	mieromètrico	micrométrico
39	22	central eléctrica central	eléctrica central
51	10	phenómenonão	phenómeno não
85	13	n.º 1	n.º 2
94	9	C	c
120	10	a	e
134	nota	*della*	*delle*

397

A. VELLADO - DISSERTAÇÃO INAUGURAL

PHILOSOPHIA