

magnético, isto é, dispor paralelamente dois fios e passar a corrente através do primeiro. Em redor deste se estabelece então um campo magnético; e, se o segundo condutor se deslocar através dêle, teremos uma corrente induzida. Ou ainda há meio de modificar o campo, quanto ao tempo e não ao espaço, isto é, de o estabelecer lentamente, intensificando a pouco

e pouco a corrente no primeiro fio. Esboçam-se, então, mais e mais numerosas linhas de força que dantes não existiam. Simultaneamente o segundo fio é atravessado por elas, e a corrente se forma ao longo do condutor. Introduzindo uma corrente no primeiro, se induz uma corrente no segundo. E, quanto mais rápido fôr o processo da introdução, tanto mais curto será o tempo em que se opera a modificação das linhas de força, tanto maior a tensão induzida. Esta depende da velocidade da transformação.

“É, como vemos, um progresso considerável. Carga em repouso: campo eletrostático; carga em movimento (corrente): campo eletromagnético. Movimento da corrente, transformação da corrente: variação do campo e indução duma tensão. De tôda modificação resulta uma novidade.

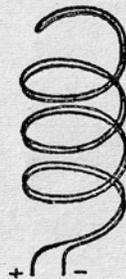
“Essas leis são rigorosamente exatas. Deduzimos daí que uma corrente pode também agir sôbre si mesma; de fato, mal formou em tórno de si o seu campo magnético, passa a ser simplesmente um condutor em campo magnético. Pouco importa a origem deste. Quando êle varia, como por exemplo no fechamento do circuito, induz no condutor uma corrente de indução; pouco se lhe dá dever a vida a êsse condutor. Os filhos revoltam-se contra os pais: a corrente de indução tende constantemente para estorvar a variação do campo magnético, isto é, para solapar a própria causa da sua existência, com intuitos verdadeiramente suicidas. Logo, no fechamento do circuito a corrente induzida — ou extracorrente, como é também chamada — opera em sentido contrário ao da corrente principal e provoca uma ascensão mais lenta, um retardo. Para as bobinas de enrolamento compacto, os eletro-ímãs, por exemplo, êsse efeito pode ser tão considerável, que dura segundos e minutos, até que a corrente principal atinja a intensidade máxima.

“Suspendendo-se a corrente principal, a extracorrente induzida procura manter o campo magnético: escoá-se na direção da corrente

principal e reforça-a. A tensão de abertura induzida sobrepõe-se à corrente indutora e pode provocar choques poderosos que, não raro, ameaçam a própria rêde. Por outro lado, girando um interruptor, nota-se uma “fâisca de abertura” que recebe a sua própria tensão da extensão induzida.

“A reação dum condutor sôbre si mesmo depende consideravelmente da forma geométrica. Em bobinas compridas e estreitas, por exemplo, a variação total da corrente é absorvida pelo condutor; a auto-indução é neste caso elevada. Êsse fio não acusa, pelo contrário, nenhuma reação; de fato os campos magnéticos do enrolamento de ida e volta compensam-se, conjuntamente são zero e assim se conservam na abertura e no fechamento do circuito. As resistências em que se quer suprimir a indução devem ser enroladas “bifilarmente”.

“Eis os fatos básicos da teoria da electricidade: uma carga gera um campo eletrostático. A corrente elétrica, um esvoar de cargas, nasce pelo fato que, graças a processos químicos, se possa manter perenemente uma diferença de tensão, criar de contínuo novas cargas. Uma corrente elétrica em movimento rodeia-se dum campo magnético; todo campo magnético gera uma corrente num condutor animado de movimento. Importante para os dois últimos fatos é, pois, o movimento, a variação.



“Nesses fenômenos simples, que em verdade são até hoje maravilhas misteriosas e talvez o continuem a ser, baseia-se tôda a eletrotécnica dos nossos dias”.

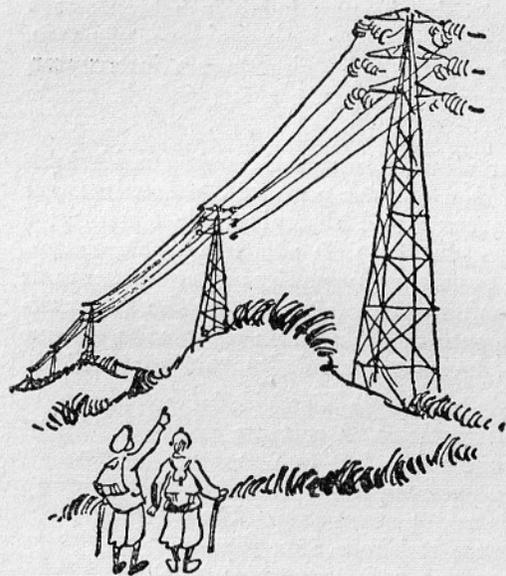
Assim terminou a conversação provocada por um defeito da instalação elétrica e um temporal.

Energia através do ar

Passeávamos na charneca.

Em linha ampla e ondulante, atraindo já de longe o olhar, dobravam-se no ar os arcos frouxos dos fios de alta tensão. Delgada, mas firme e forte, era a estrutura dos postes, e a cadeia dentada dos isoladores de porcelana lembrava um brinquedo maravilhoso. O vento sussurrava brandamente nos seis grossos cabos estendidos acima das nossas cabeças.

— Que idéia curiosa! — ponderou o meu amigo. — Nesses fios de cobre de dois dedos de grossura, correm para Berlim vinte e sete mil e duzentos cavalos; tensão de duzentos e vinte mil voltes; cem amperes. E nada, absolutamente nada dessa energia transparece nos fios.



— Tens razão — confirmei eu. — Mais curioso, porém, é que os cabos são ociosos; a cadeia de elétrons lhes percorre apenas a superfície externa; um osso tubular serve de escafo tanto quanto um pau. E, ainda mais estranho: essa intensidade não é propriamente o que se diz. Os cabos não contêm a energia. A corrente está ali de fato, como um mal necessário. Mas a energia dos dínamos, que vai iluminar uma cidade inteira, a energia não corre nos cabos.

— Que dizes? — acudiu o meu companheiro. — Não me querás impingir que ela chega a Berlim pelo ar!

— Pois é justamente isso: a energia vai dar a Berlim através do ar. A corrente cria em torno de si o seu campo — o campo eletromagnético. Esse campo — e só êle — contém a energia. Uma corrente de força flue, com a velocidade da luz, para a grande cidade, ao longo dos cabos. Ao longo dos cabos e não nos cabos. É o campo formado na atmosfera livre que contém toda a energia da usina elétrica. Se a corrente se interrompesse de improviso, veríamos a energia do campo em dissolução, libertada, subitamente, procurar caminho nas grandes faíscas da tensão de abertura. A corrente não passa dum mal; necessário, até agora, mas em suma indesejável. Não a podemos dispensar, para conservar a energia e guiá-la no seu caminho ao longo do cabo; do contrário, ela se dispersaria em todos os sentidos. No compartimento, onde acendo a luz, o fluido invisível, misterioso da energia corre igualmente aos lados do fio e pela parede, até à lâmpada. Desde que acreditamos na teoria de Maxwell e de Faraday, devemos ser consequentes. A energia esconde-se no campo. Talvez consiga um dia abandonar de vez o fio. Ali estão os prenúncios.

E apontei, além da fita larga e cintilante do rio Havel, a outra margem onde se erguiam, esfumadas no crepúsculo incipiente, as antenas delgadas e frágeis da radiotelefonía.

— Essas antenas irradiam cento e cinquenta quilowatts, sem

meta determinada; aspergem energia em tôdas as direções. Por isto o teu aparelho receptor capta apenas frações dum milionésimo de watt, e tu tens de reforçar artificialmente êsse residuozinho. Agora, porém, já se montam estações transmissoras que irradiam “ondas dirigidas”. Tais são as novas emissoras para a Ásia oriental, a América, a África do Sul. Se acenderes, no tôpo duma tórre, uma lâmpada poderosa, apesar dos seus milhões de velas, nada conseguirás iluminar, além de certo limite. Se reunires a mesma energia num projetor, num delgado feixe de luz, a sua claridade te desvendará uma casa ou um avião a quilômetros de distância. Naturalmente, a poucos passos, para onde não podes torcer o braço do holofote, a escuridão será completa. Se conseguirmos construir projetores para as ondas longas eletromagnéticas — e já estamos nesse caminho — poderemos irradiar energia livre através do espaço. A emissão radiofônica destinada à África meridional não é ouvida na França ou na Polônia; na Cidade do Cabo distinguem-na perfeitamente. Dentro de vinte ou de cem anos, enviaremos energia a Berlim, sem as muletas dispendiosas e complicadas dos fios atuais. Observatórios inacessíveis no cume das montanhas, aeroplanos no ar, ilhotas no oceano receberão a força elétrica necessária — e ela viajará no espaço, em feixes finos e concentrados. A época da electricidade mal começou. Ainda caçamos pardais com o canhão; ainda reinam no éter a anarquia, a desordem. Mas um dia, os homens libertarão a electricidade dos laços da matéria.

Anoitecera completamente. Ficáramos sob a linha de alta tensão e deitamos um derradeiro olhar às curvas impressionantes dos seus fios delgados. Vinte mil quilowatts voavam no espaço, em torno dêsses fios, para Berlim. Tive um instante a sensação de vislumbrar a energia imaterial, como uma aparição fantástica, no envoltório reluzente dos cabos. Mas continuamos a andar. Um físico não deve admitir visões irracionais.

Ondas

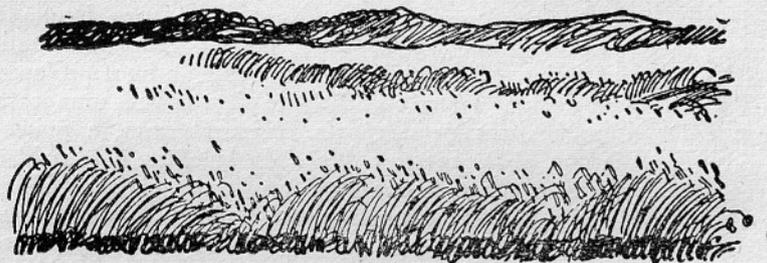
O trigal estendia-se na paisagem luminosa, com reflexos de ouro sob o sol ardente. Borboletas adejavam no ar trêmulo, no seu vôo inconstante e vago. O vento estival, cálido e forte, fustigava os campos.

As espigas maduras balançavam-se brandamente, nas hastes delgadas; cessando o vento, interrompiam as suas profundas inclinações, endireitavam-se, oscilavam ainda um instante e se imobilizavam.

Vagas largas e externas correm sobre a seara, adiante do vento ora ondulação, ora movimento amplo e harmônico, ora ainda o recuo e balanço violento sob o vendaval imprevisto que irrompe

súbitamente. E nós seguimos-las com o olhar, até perdê-las de vista, além dalgum outeiro.

Uma onda corre sôbre o campo. E tu, em certo domingo, deitado na relva, à sombra dum silvado, com a atenção prisioneira da mis-



teriosa harmonia dêsse movimento, não consegues desviar os olhos que acompanham essas vagas, fascinados pela beleza oculta, pelo encanto arrebatador da ondulação. Ou é mais do que isto? Serão mais conscientes, o teu enlêvo, a tua surpresa cheia de interesse? Impressiona-te de improviso o mistério da ondulação, dêsse fenômeno ao mesmo tempo material e imaterial? É possível que hajas percebido, pela primeira vez, a natureza dúplice da onda, nesse trigal curvado pelo vento. A rajada passou; um leve frêmito, e os colmos reerguem-se, retos e esbeltos como círios, aparentemente imóveis. Entretanto mal acabou de correr sôbre o campo uma grande vaga; cada um dêsses caules inclinou-se profundamente, empurrou o vizinho, imprimindo-lhe ao mesmo tempo movimento. Nenhuma dessas hastes se deslocou; nenhuma criou pernas que a levassem pelo campo; o que correu pelo trigal foi apenas o movimento, o estado de ondulação inquieta, a onda.

Na ampla ondulação do oceano, a mais pura dentre as formas de vaga marítima, o caso é idêntico: ali também a onde rola à superfície das águas; cada partícula líquida oscila, mas conserva-se no seu lugar.

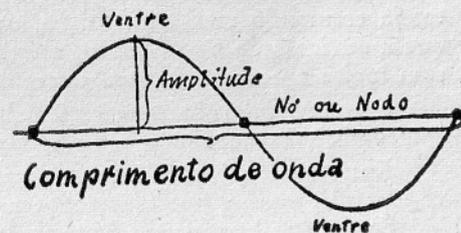
Em pequenos, muitas vêzes nos distraímos, formando ondas com uma corda — um cordel deitado no chão ou seguro por dois parceiros. Com um movimento enérgico, levanta-se e retira-se a corda; dado o impulso, o processo continua por si mesmo. Por causa da solidez interna da corda, cada partícula enquanto a ajudar a força de atração, arrasta a seguinte, atinge o ponto culminante e desce. Transmite, pois, a impulsão; como numa corrida de estafetas. Repetindo-se o impulso a distâncias regulares, forma-se o que se chama “onda estacionária”. A corda inteira toma uma forma sinuosa; tôda partícula oscila, sem cessar, para cima e para baixo. Cumpre não interpretar mal a expressão “onda estacionária”. As ondas continuam a correr em todo o comprimento da corda para a frente e para

trás. O essencial é apenas que o comprimento das ondas — a distância duma crista de ondas à seguinte se iguale de tal forma, que cada onda, recuando, vá inserir-se exatamente na onda vizinha.



Infelizmente aqui temos de aprender alguns vocábulos. Entende-se por altura da onda ou amplitude a diferença de nível entre a crista ou o vale de ondas e a zona média. A freqüência ou o número de oscilações — a unidade de medida é o “Hertz”, ou abreviadamente: hz, — dá-nos o número de ascensões e descidas de cada partícula num segundo — da crista ao vale e vice-versa. O tempo necessário para isso denomina-se duração das oscilações. Numa freqüência de cinquenta hzs. — cinquenta oscilações por segundo — a duração das oscilações é um cinquentavo de segundo; as duas grandezas são “recíprocas”: uma o inverso da outra.

Nessa quinquagésima parte dum segundo opera-se, na posição das partículas, um movimento equivalente a um comprimento de onda; nessa quinquagésima parte dum segundo, a onda avança para a direita um comprimento de onda — digamos, por exemplo, dum metro. Num segundo, o progresso da onda corresponde, portanto a $1m \times 50 = 50ms$. Este produto é a velocidade — a velocidade de propagação da onda. Logo:



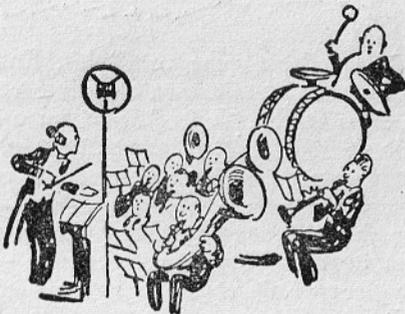
$$\text{Velocidade} = \text{Freqüência} \times \text{Comprimento de onda.}$$

As ondas da T. S. F. por exemplo, têm uma velocidade de trezentos mil quilômetros por segundo. A onda de trezentos metros atinge assim a freqüência dum milhão de hzs. — mil khzs. Se quiserdes, podeis verificar se as estações emissoras preenchem essa condição. O comprimento de onda nos dá, por assim dizer, a largura do passo; a freqüência, o número de passos, num segundo, da onda que corre sôbre a corda. Quanto mais sacudirmos o cordel, tanto mais altas serão as cristas. Só a amplitude é decisiva para a energia da onda. E por hoje basta.

Ondas eletromagnéticas

— Primeiro os chineses!...

Uma tabuleta de fôlha, com um 1 gigantesco, apareceu no pavilhão. O regente empunhou a batuta, mas tornou a baixá-la. Um homem de camisa branca acudiu, correndo, deslocou o microfone, murmurou algumas palavras dentro dêle e retirou-se, largando cuidadosamente atrás de si o fio negro e reluzente.



A transmissão podia começar. E a música irrompeu, com um rufo prolongado e o clangor de muitos instrumentos de cobre. A brisa condenscente levou consigo o rumor.

— Primeiro os chineses! — repetiu o homem alto e magro, enquanto a orquestra, um tanto receosa talvez pelo efeito dos primeiros esforços, declinava para ritmos e sonoridades menos

violentos. — É como lhe digo: qualquer chinês ou australiano que esteja escutando esta transmissão, recebe essa música antes de nós que a ouvimos do nosso banco, a uns cem metros da orquestra. Não com muita antecedência, mas antes de nós — insistiu o que falava.

O seu vizinho, baixo e rechonchudo, limpou cuidadosamente o "pinçe-nez", meneando a cabeça, com ar incrédulo.

Entretanto o homem alto e magro tinha razão. Queremos prová-lo. Isto, porém, nos constrange a um desvio.

Se aquêles homens em mangas de camisa, cada um da altura duma casa e que armam, naquele prado, com grande energia e brados sonoros, as peças duma montanha russa tivessem consciência de que são elemento importante da nossa demonstração?

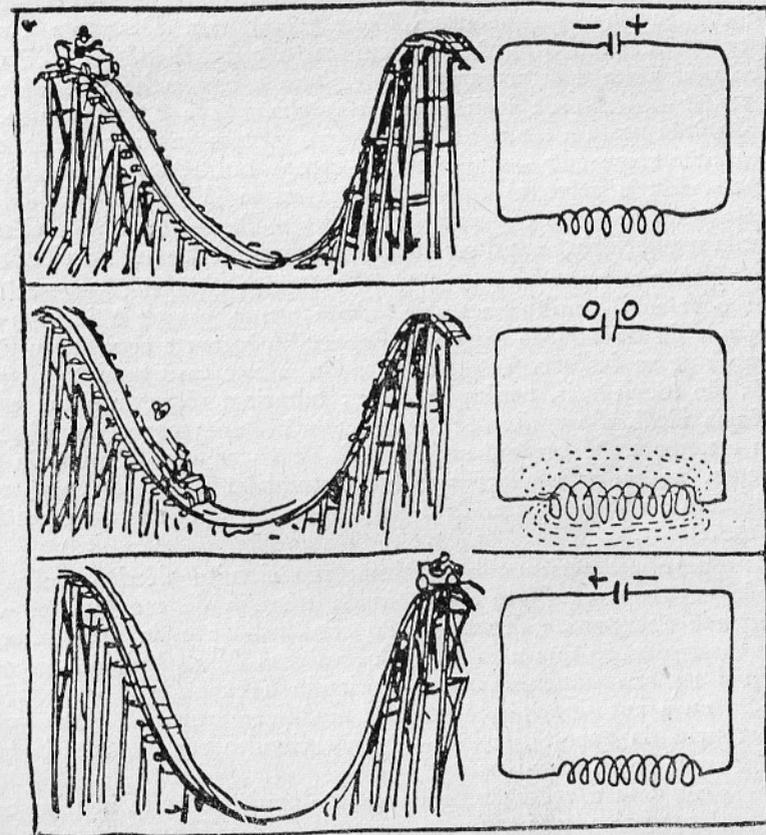
Consideremos, pois uma montanha russa. Soltamos o trenó duma das alturas. Ele inicia a descida; em razão da sua posição elevada, adquiriu energia potencial — o veículo subiu até lá, a custa de não pouco trabalho — que ora se põe em movimento. O trenó desliza, portanto, cada vez mais rápido, até ao vale. A partir dali, perde a energia, mas conserva o movimento veloz. E nessa velocidade se oculta a energia; ela não se sumiu, dissimulou-se apenas.



O trenó percorre vertiginosamente a linha média, levado pelo

seu andamento, sobe a encosta fronteira e pára de novo no alto do outro morro.

Também à eletricidade se pode imprimir um análogo movimento ondulatório. Liguemos um condensador e uma bobina de autoin-



dução; carregando o condensador, por meio duma bateria que depois se afasta, armazenamos — como no caso da montanha russa — uma quantidade de energia, uma força que se aloja no campo, entre os discos do condensador. Fechado o interruptor, o condensador descarrega-se e uma corrente se escoia pela bobina. Produz-se, pois, o efeito discutido acima: a bobina cria o seu campo magnético.

Equilibrada a tensão do condensador, a energia do campo desaparece; é, por assim dizer, o instante em que o trenó atravessa fragorosamente o vale. E, no segundo caso também, a energia some-se aparentemente apenas. De fato, onde já não se escoia a corrente de descarga, o campo magnético perdeu o direito à existência. Dis-

solte-se, varia, enfraquece e induz na bobina uma extracorrente — e nessa corrente de indução é que se torna a encontrar a energia.

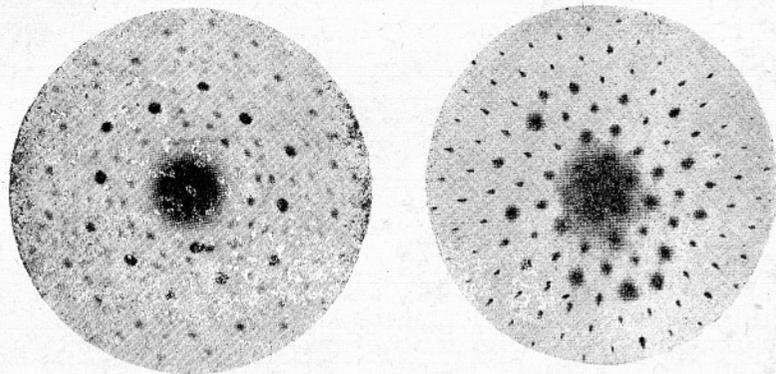
A corrente continua a seguir a direção primitiva, alimentada pelo campo magnético em dissolução. E carrega o condensador. Os elétrons da corrente aglomeram-se, efetivamente, no disco direito do condensador, porque não há que passar dali. Descendo a zero, o campo magnético já não pode manter a corrente induzida. O condensador volta a estar carregado, embora o campo haja mudado de direção: o trenó da montanha russa alcançou a altura oposta. E a situação passa a ser esta: novo campo elétrico entre os discos, condensador carregado — ausência de campo magnético na bobina. O carro vira; a corrente recomeça a escoar-se já noutra sentido! — restabelece o campo magnético e assim por diante. A energia elétrica oscila regularmente em duas direções; temos um “circuito oscilatório”.

Notámos que o campo magnético assume o papel de massa inerte: o veículo continua a rodar ladeira acima, graças à inércia; em virtude da “inércia do campo magnético” a corrente continua a fluir, depois de se descarregar o condensador. Neste caso também as perdas são inevitáveis, perdas essas que faltariam somente numa experiência ideal. As oscilações “amortecem”. Assim como um pêndulo ou o nosso trenó oscilam mais e mais de vagar, com força cada vez menor, assim as oscilações elétricas também decrescem progressivamente e afinal cessam. Mas justamente as perdas tornam possível a radiofonia.

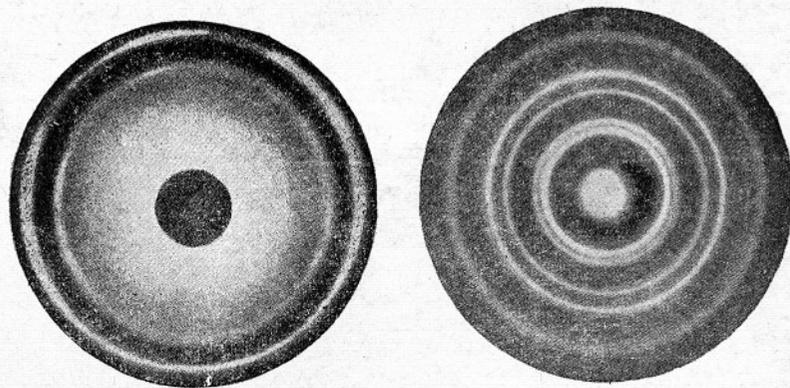
Queremos acentuar o seguinte: um circuito elétrico oscila em cada segundo, com um determinado número de movimentos que depende apenas das dimensões do condensador e da auto-indução, do mesmo modo que a duração dos vaivéns dum pêndulo é proporcional ao comprimento deste. Variando a capacidade do condensador ou a auto-indução, é possível modificar dentro de certo limite o número da auto-oscilações — pôr o circuito em ressonância com diferentes frequências.

Mais uma observação: o campo é dotado de certa inércia; conservador arraigado, insurge-se contra toda reforma, acompanha-a contra vontade. Donde lhe vem essa inércia? Não é ele absolutamente incorpóreo, imaterial, simples estado ou capacidade? Como pode cousa tão inconsistente acusar inércia, tal qual um corpo sólido?

É que o campo representa certo quantum de energia, e esta por seu turno tem inércia. Quando o campo magnético se dissolve, a sua energia procura situar-se noutra lugar. Não pode sumir-se simplesmente no vácuo nem tolera que a despachem, sem cerimônia, para outro ponto do espaço. Não vê vantagem na mudança. Por isto, a transmissão da energia requer algum tempo. Logo, a teoria do campo equivale à do efeito próximo e avizinha-se do conceito duma velocidade finita de propagação da energia. A teoria



Diagramas de Laue, dum cristal atravessado à esquerda pelos raios Röntgen e, à direita, por elétrons.



Figuras de difração, numa lâmina metálica, submetida à esquerda aos raios Röntgen e à direita elétrons.
Ondas electrónicas

do efeito à distância não pode designar a velocidade de propagação. Esta é uma questão a que ela nega resposta; recusa por princípio formar conceito sobre o mecanismo da transmissão.

Mas disto voltaremos a falar mais tarde.

A válvula eletrônica

O grande xá da Pérsia mandara construir uma circulação hidráulica um tanto absurda: uma bomba sugava constantemente as águas do lago A, para as despejar, através de tanques e canais, no lago K. Resultado? Dentro em pouco, o lago A estava enxuto, e o lago K transbordava e da circulação líquida, nem vestígios.

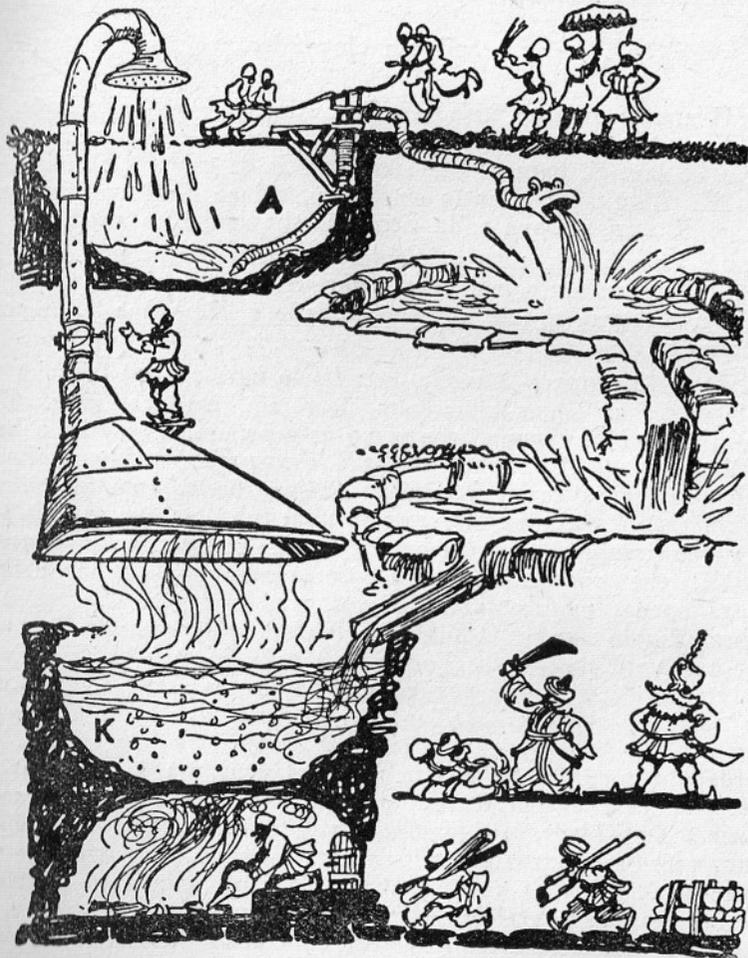
Os engenheiros, os arquitetos foram executados, mas essa punição não remediou o mal. Finalmente o bobo da corte, Nasreddin, propôs: "Deixem o caso ao meu cuidado e dêem-me a recompensa adequada".

O truão começou a tarefa, acendendo uma enorme fogueira sob o lago K; as águas aqueceram, ferveram, evaporaram-se. Uma densa nuvem de vapor elevou-se no ar e precipitou-se para a bacia enxuta do lago A. Assim, graças à evaporação, a água voltou a ocupar o espaço vazio. Fenômeno análogo ocorre com as válvulas eletrônicas. A corrente não se escoia num tubo em que se haja feito o vácuo completo, por maior que seja a tensão nos eletrodos. Os elétrons concentram-se no fio do cátodo, mas daí não passam. Resta apenas um caminho: fazê-los evaporarem-se. Aquece-se ao rubro o fio do cátodo. O fluido de elétrons evapora-se do fio, transpõe a superfície excitada. Forma-se, à roda do cátodo, uma espessa nuvem de elétrons e é possível calcular a densidade dessa nuvem, do vapor de elétrons, mediante as fórmulas aplicáveis à evaporação dos líquidos. Diz-se que então o espaço está "carregado". Em verdade a repulsão da nuvem negativa contraria a tendência dos elétrons para evaporarem-se; e o processo não tardaria a se reduzir à imobilidade, se o famélico anodo positivo não chamasse continuamente a si novas partes da nuvem. Os elétrons livres — uma corrente de elétrons, como a nuvem de vapor d'água de Nasreddin — atravessam, a grande velocidade, o interior do provete e, em lugar dos que se afastam, nascem do cátodo incandescente novas unidades negativas. Em consequência, celebrando as diferentes forças um "gentlemen agreement", a corrente se escoia pelo espaço vazio.

— Muito bem! — disse o xá a Nasreddin. — Falta, no entanto uma cousa. É preciso regular a circulação hidráulica. Desejo limitar a quantidade d'água que me atravessa o jardim.

— All right! — retrucou o bobo.

E colocou uma válvula no percurso da nuvem de vapor d'água; abrindo-a mais ou menos, deixava subir uma quantidade maior ou menor do líquido evaporado e regulava, sem custo, o regato artificial. A lâmpada eletrônica também pode ter uma válvula: a grade, uma

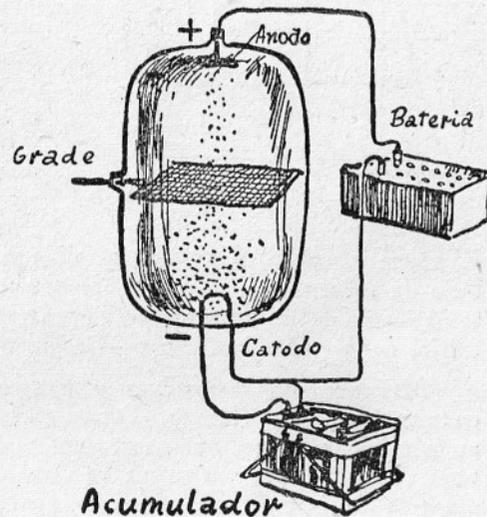


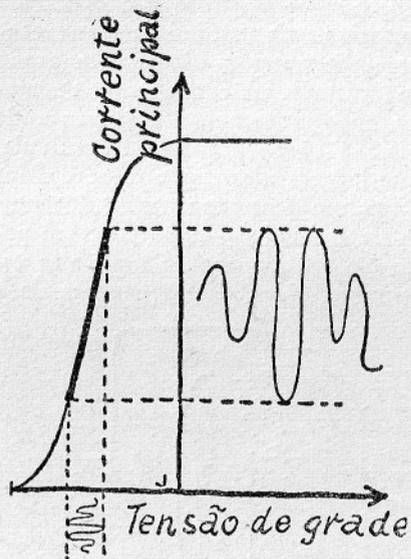
rêde de fios colocada no centro do trajeto dos elétrons e que, no princípio, mal os perturba. Se, porém, a carregarmos de eletricidade negativa, ela repelirá uma parte dos elétrons evaporados, o que aumenta a tendência da nuvem para recuar. Pode-se dar à carga proporções tais, que não seja possível a um só elétron passar-se para o ânodo. Este, sem dúvida, o atrai; a atração do ânodo pode ser

considerável. Mais próximo, porém, e mais poderoso e o obstáculo concreto e repulsivo da grande negativa. Contrariado na sua tendência, o elétron permanece no caminho entre o cátodo e a grade que, como vemos faz as vezes duma válvula. A carga maior ou menor da grade fortalece ou debilita automaticamente a corrente de elétrons. Quanto mais poderosa fôr a carga negativa da válvula, tanto menor será o número dos que logram alcançar o ânodo. Mas à mínima atenuação da carga negativa, um denso enxame de elétrons se precipitará, além do obstáculo para o ânodo — uma corrente poderosa. Exatamente como no salto em altura: quanto mais alta estiver a barra tanto menor será o número dos atletas capazes de a superarem. Muitos vencem um metro e oitenta; mas a elevação insignificante de cinco centímetros basta para os derrotar; e, a partir dum metro e noventa cada centímetro acrescentado ao obstáculo diminui enormemente o número dos competidores.

O efeito essencial da válvula é, em suma, governar com forças mínimas energias poderosas. O maquinista gira com um gesto a alavanca do regulador, e os mil cavalos da locomotiva do rápido obedecem ao movimento. Uma leve pressão no acelerador, e o ônibus de cem cavalos apressa a corrida. Uma alteração insignificante do potencial da grade basta para regular a corrente de muitos amperes duma grande lâmpada eletrônica. Se transformarmos o potencial da rêde em movimento palpante, a corrente poderosa do circuito principal oscilará com pulsação análoga. Lembremo-nos de que os elétrons são inconcebivelmente leves; não possuem massa, na acepção usual do termo. Seguem, pois, no mesmo instante, qualquer impulso. Enquanto o ônibus precisa de certo tempo para atingir a velocidade máxima, a corrente principal da lâmpada eletrônica obedece instantaneamente às ordens da grade.

É nesses fatos que assenta a ação intensificadora das válvulas. Não se trata, como vimos, propriamente dum reforço; substitui-se





E, cousa essencial, o próprio pêndulo solta, no instante decisivo, o freio da roda. Logo, no momento oportuno, o pêndulo se provê automaticamente do suplemento de energia indispensável — do contrário, nada poderia intentar — e governa o andamento do relógio.

Meissner logrou resolver o mesmo problema, em relação ao circuito oscilatório elétrico. Forma-se êsse circuito, que corresponde ao pêndulo e requer constantemente uma força haurida duma bateria. Esta faz, por seu turno, as vêzes do pêso de latão. Essa energia tem de intervir no momento oportuno — o momento para o qual o relojoeiro emprega um freio que, na ocasião asada, é pôsto em movimento pelo próprio pêndulo. Nós empregamos uma válvula eletrônica, cuja grade governamos, mediante o próprio circuito oscilatório, de maneira que permita, a nosso talante, a passagem dum novo choque.

Logo, o campo magnético do circuito oscilatório abrange também a bobina da grade e nela induz, por ocasião da sua ruptura uma corrente que modifica o potencial da grade. O circuito de tensão está acoplado à grade, e nós reconhecemos que, na realidade, ela e o circuito oscilatório devem ser necessariamente síncronos; é óbvio, pois, que a corrente do ânodo também obedecerá ao mesmo andamento. Em consequência, a corrente balanceia-se por si mesma, no circuito oscilatório, até que as perdas, sempre inevitáveis, lhe marquem um limite. Acabamos de enunciar o princípio do moderno circuito de oscilação das ondas entretidas. Desde que se lhe imprin-

antes a corrente fraca da grade pela corrente principal, mais poderosa, mas que acompanha fielmente as vicissitudes da primeira.

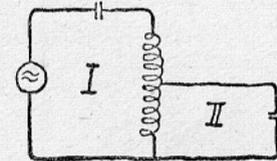
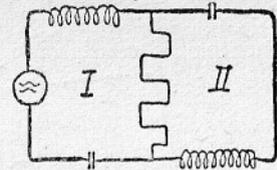
“Acoplamento”

Poderíamos agora voltar ao nosso problema capital: como se não de compensar as perdas, no nosso circuito oscilatório? Um pêndulo oscila dias a fio, com a mesma velocidade; mas valees dum estratagema: recebe em volta um leve impulso. Uma roda dentada, movida por um grande pêso de latão, avança e e imprime o impulso necessário.

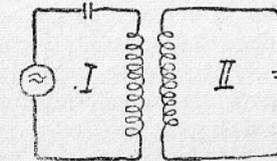
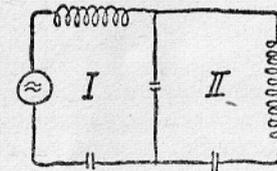
ma o movimento, êsse circuito oscila, enquanto não se esgotar a bateria, isto é, enquanto o contrapêso não parar.

Resta dizer mais alguma cousa a respeito do “acoplamento”: há dois circuitos oscilatórios; o primeiro é, dalgum modo — por meio duma bobina de indução, por exemplo — sacudido por pulsações elétricas constantes. Como se há de comunicar ao segundo alguma cousa dessa riqueza?

Ora, é possível facultar à corrente elétrica a entrada no circuito, inserindo simplesmente os circuitos um no outro. O entendido afirma então que os circuitos estão “acoplados” e discorre à vontade sobre associação de resistências e associação condutiva. (Vejam-se as figuras I e II do desenho). Como é fácil verificar a corrente oscilatória do circuito I não pode deixar de se estender ao circuito II e de lhe comunicar simultaneamente vibrações análogas às suas próprias.



O entendido formula ainda outra possibilidade: “acoplamento” de capacidades ou de condensadores (fig. III) e por último uma associação menos direta: a associação indutora (fig. IV). Nessa, não subsiste contacto entre os dois circuitos mas o campo magnético da bobina I envolve a bobina II. Variando a própria intensidade no movimento oscilatório, êsse campo induz na bobina II — e, portanto, em todo o circuito II — uma corrente elétrica de oscilação.

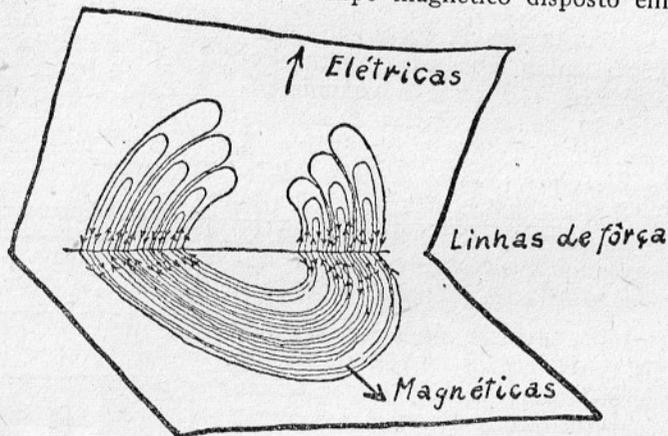


A nossa ciência já se dilatou enormemente; já é tempo de aventurar um passo no vasto mundo. Associemos — digamos: indutivamente — um longo fio reto: a antena, a um sistema engenhoso de circuitos oscilatórios: o emissor, e então podemos principiar: o operador liga os geradores, os filamentos incandescentes aquecem-se, a água gorgoleja na serpentina de louça em tórno das válvulas de emissão em tórno das quais pairam os doze mil volts do potencial do ânodo. Gira-se por fim o último interruptor. Um choque poderoso percorre os circuitos, imprime-lhes oscilação; êles reagem na grade, por virtude do “acoplamento” e balanceiam-se até chegarem no máximo da energia. Os circuitos de refôrço vêm-se impelidos um após outro; o último está em comunicação com a antena. Temos,

pois, uma corrente que oscila, sem cessar, acima e abaixo, pelo fio da antena.

É ardil comum, na cinematografia, imobilizar súbitamente a imagem. Na demonstração dum salto em altura, por exemplo, o atleta adeja soberbamente acima da barra. Adotemos nós também êsse estratagemma. A corrente da antena está em movimento; ordenemos de improviso: "Alto!" e observemos o que aconteceu.

Ah! Eis-nos em presença dum campo elétrico de linhas perpendiculares ao condutor e dum campo magnético disposto em forma



de círculos, em redor do fio. Isso, para nós, não é novidade. Entretanto, se observarmos mais de perto a situação que criámos, não tardaremos a verificar que, neste curto intervalo, o campo magnético à roda do fio se distanciou da antena uns cem metros. Essa barreira entre campo e não-campo, entre potencial e não-potencial, é — já o averiguamos — efêmera e se desvanecerá, mal dermos a ordem: "Adiante!" O mesmo ocorre, em relação ao campo elétrico; já conhecemos a velocidade com que um e outro campo surgem no espaço: trezentos mil quilômetros por segundo. Percebeis a influência da teoria do efeito próximo de Faraday?

Brademos, pois a ordem: "Adiante!" O processo de propagação continua. Mas, como a antena está "acoplada" a um circuito oscilatório, o sentido da corrente inverte-se naquela e as novas linhas de força resultantes se dispõem de outra maneira. Um sistema de círculos concêntricos descritos em sentido constantemente alternado — eis como atravessam o mundo os campos magnéticos, arrebatados pelos seus trezentos mil quilômetros por segundo: campos alternantes.

Com os campos elétricos, o caso é um tanto diverso. Quando na antena o potencial, declinando aos poucos, atinge o zero, é sinal de que as linhas de força têm de dar volta, de se retirarem para o condutor. As mais próximas logram recolher-se ao seu domicílio;

as que, porém, já se aventuraram demasiado longe, em zonas estranhas, não tardam a perceber a impossibilidade de regressar a tempo. Convertendo então a necessidade em virtude, desprendem-se definitivamente, enrolam-se em torvelinho e, nessa disposição continuam a avançar. Um após outro, os redemoinhos de força elétrica separaram-se e abrem caminho ao longe. O campo elétrico também é um campo alternante e se desloca trezentos mil quilômetros por segundo.

A antena constitui um circuito oscilatório aberto. Daí, da sua forma livre, e estendida deriva a faculdade das linhas de forças elétricas e magnéticas de se desprenderem numa proporção tão considerável e de poderem avançar no espaço. Naturalmente devemos imaginar tôdas de volume esférico as linhas de força desenhadas no plano.

A antena irradia; lança no éter ondas eletromagnéticas esféricas — ondas que oscilam em sincronismo com o circuito oscilatório do emissor. Por todo ponto da atmosfera passam os campos eletromagnéticos alternados, cujas intensidades elétricas e magnéticas se cortam sempre perpendicularmente e são perpendiculares à direção do progresso das ondas.

Propagação das ondas

As ondas atravessam o éter transbordante de vida elétrica, permeado de elétrons e dos íons gerados, êstes sobretudo, pela luz solar e que de noite se neutralizam novamente. As ondas errantes imprimem-lhes oscilações das quais haurem energia.

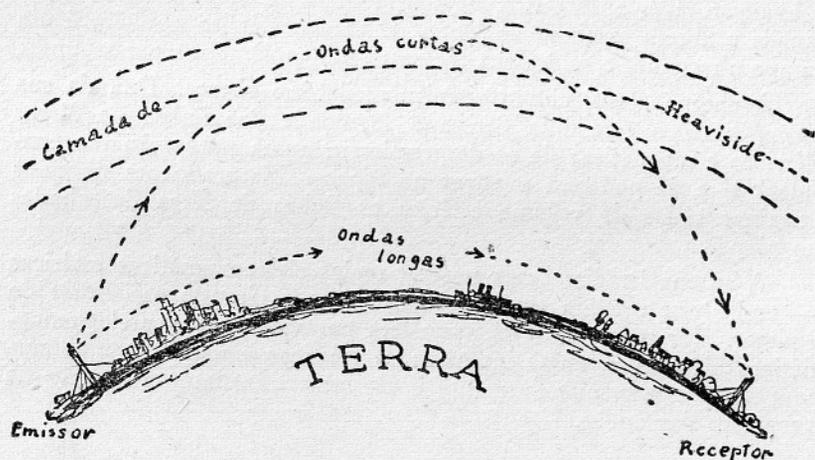
A atmosfera é um meio impróprio para as ondas elétricas; tanto mais intranquilo, quanto mais "animado". Por isto a recepção radiofônica é mais nítida de noite do que de dia e pior no verão do que no inverno, quando o sol passa menos tempo no céu.

É cousa notória há muito que as ondas longas, oscilando lentamente, penetram nos ambientes desfavoráveis mais facilmente do que as ondas curtas. Já em tempos antiquíssimos, os nativos da América do Sul e da África se comunicavam mediante rufos de tambores, surdos e reboantes — isto é, por meio de ondas sonoras longas.

Quanto mais longas forem as ondas, tanto melhor e tanto mais certa de dia e de noite será em geral a recepção. Em conseqüência, nos primórdios da radiotelegrafia ultramarina utilizavam-se em Nauen ondas enormes de vinte quilômetros. As linhas de força elétricas são perpendiculares à superfície da Terra. E a onda de vinte quilômetros corria ao longo da Terra como por um fio, porque o globo terrestre é condutor da eletricidade. Falamos duma onda baixa. Quanto mais curtas forem as ondas, tanto maior é a fração que se liberta do solo, especialmente nas ondas de comprimento inferior

a cem metros. Elas sobem verticalmente na atmosfera — “perdem-se no espaço”, era o que se receava.

Cousa extraordinária, porém, radio-amadores norte-americanos, a quem se abandonara liberalmente êsse domínio etéreo “inútil”,



conseguiram em breve um alcance imenso; transpuseram o próprio oceano com uma fração apenas, da eficiência das grandes emissoras. Hoje conhecemos a causa dêsse fenômeno. Nas grandes altitudes — de oitenta a cem quilômetros acima da superfície terrestre — encontra-se uma camada de partículas de ar, carregadas eletricamente: os íons, e dotada de considerável poder condutor: a camada “heaviside”, em que as ondas hertzianas são repelidas — refletidas, exatamente como se a uma centena de quilômetros de altura a Terra fôsse protegida por um capacete metálico. Determinou-se a sua altitude por meio da sonda elétrica: despediu-se um trem de onda que, refletindo-se nessa alta camada foi por ela repellido para baixo. Ao têrmo de cêrca dum milésimo de segundo chegava novamente ao solo. Conseguiu-se medir exatamente o tempo empregado nessa trajetória.

Logo, as ondas curtas percorrem a maior parte do seu caminho na “ionosfera”, sem sofrerem o mínimo dano, e descem relativamente ainda muito fortes. Daí a boa recepção, não raro surpreendente, das ondas curtas, apesar da insignificância da energia emissora. Às vêzes, porém, a camada “heaviside” frustra as esperanças. Perturba-se, altera-se, converte-se, numa palavra, em má condutora. Nessas circunstâncias, a recepção piora, decresce, cessa, para voltar pouco a pouco, só quando a “heaviside” se houver aquietado.

Dá-se a êsse fenômeno o nome de “fading”. A camada “heaviside” não é absolutamente um capacete de metal! Entre emissoras e receptores pode haver uma zona, onde a transmissão de ondas cur-

tas não seja ouvida — uma zona de silêncio. O interessante é que, também para o fragor das grandes explosões, há essa zona de silêncio e que nesses casos se verificou um alcance igualmente anormal. As ondas sonoras também sobem à estratosfera e dali, já dos trinta e cinco quilômetros aproximadamente, são reenviadas à Terra por uma camada quente de ozônio.

Tôda oscilação elétrica, tôda alteração da corrente significam variação do campo, uma perturbação eletromagnética que se propaga pelo espaço, com uma velocidade igual à da luz. Se eu puser em ação a minha lâmpada, com a corrente alternada comum — cinquenta períodos por segundo — a lâmpada irradiará ondas elétricas duns seis mil quilômetros de comprimento. Naturalmente a energia é reduzidíssima; afóra do enorme comprimento da onda a lâmpada não foi feita para irradiar. Mas pode suceder que certos aparelhos elétricos, especialmente os que se fabricam para alta frequência: aspiradores, almofadas, térmicas etc., irradiem ondas perceptíveis, incidentes do domínio das ondas hertzianas. Há casas onde a recepção radiofônica é impossível. Não se capta só a irradiação das estações locais; ouve-se ao mesmo tempo o aspirador, dotado casualmente de igual comprimento de onda, mas que no seu programa indesejável propaga só guinchos e assobios. Cumpre então refrear os aparelhos, impedir-lhes a oscilação a irradiação perturbadora, o que se obtem, mediante uma bobina de indução — que absorve as ondas impróprias já antes da emissão — ou por meio dum condensador.

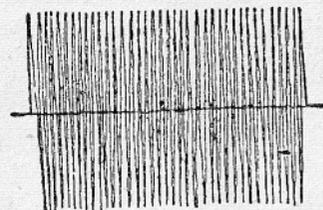
Emissor e receptor

Antecipamo-nos um pouco e, pròpriamente, isto não deveria ocorrer numa obra científica. Do contrário, o leitor sisudo nada acreditará do que se lhe explica no decorrer da leitura. Para começar, duvidará de que seja possível a recepção de rádio ou de telegrafia sem fios. E alegará, com razão, que descrevemos um emissor aparelhado para lançar no éter um campo alternante, ondas animadas de movimento veloz, mas que êsse emissor espalha despreocupadamente a sua energia na vastidão do espaço; embora êle tire da antena cento e cinquenta quilowatts, à distância só se captará uma pequena fração dessa fôrça, já que ela, dantes concentrada densamente na antena, se disseminou por todo o globo terrestre. Demais, a rádioemissora berlinense, por exemplo, oscila oitocentas e quarenta e uma mil vêzes por segundo; que telefone, que alto falante lhe poderia acompanhar as oscilações? E, se pudessem, o nosso ouvido nada perceberia, pois o órgão humano da audição só distingue ondas entre dezesseis e vinte mil oscilações por segundo. “Não”. — rematará o leitor sisudo — “a radiofonia é impossível”.

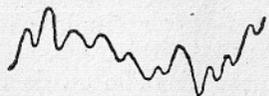
Não me custaria objetar que, agora mesmo, na minha mesa de trabalho, se faz ouvir um alto-falante. Não seria, porém, uma prova. Pensemos antes no nosso emissor, tal como o descrevemos há pouco, e admitamos que o operador, achando o processo enfadonho, se lembre de interromper a irradiação, de brincar com a alavanca do interruptor em ritmo alternado, executando talvez dois movimentos longos e um breve. O resultado? O movimento ondulatório deixa de ser plano, continuado; a antena despede grupos de ondas; assim: longo... longo... breve.

Ouvindo êsses sinais, um velho telegrafista pensaria involuntariamente no g, que dêsse modo se representa essa letra no alfabeto Morse. Eis como se nos desvendou a possibilidade da telegrafia sem fios.

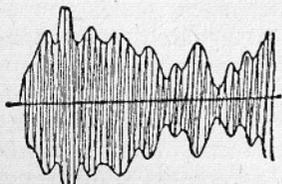
Segundo caso: altera-se periodicamente a intensidade da corrente emissora. Reflitamos: a grade governa a intensidade da corrente. Se levamos uma corrente alternada à grade duma lâmpada eletrônica, a tensão principal também oscila sincrônicamente com a tensão alternada. E, quando por exemplo se fala a um microfone, cujas correntes alternadas dão para uma grade, a corrente principal



Ondas não moduladas



Ondas produzidas pela voz



Onda modulada

oscila com o ritmo das vibrações da voz. Noutros termos, a energia que a antena lança no espaço, a energia do campo, a amplitude portanto, oscila conforme as vibrações sonoras. Resumindo: as ondas de alta frequência são portadoras das ondulações vocais. E diz-se que as ondas foram moduladas. Eis o princípio do emissor radiofônico.

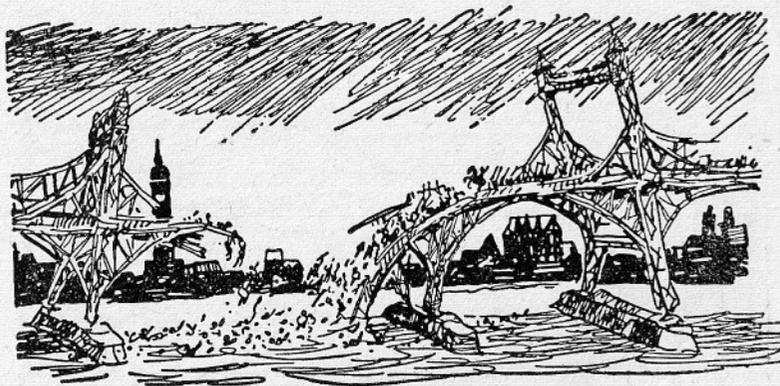
Formulou-se a hipótese de que as borboletas se comuniquem, irradiando e recebendo, por meio das antenas, breves ondas elétricas. Nós não somos borboletas. Nada perceberemos das tormentas elétricas que alvoroçam o éter, se não criarmos para êsse fim um aparelho complexo.

Estendemos, antes de tudo, uma antena em que os inúmeros campos alternados da atmosfera provocam leves oscilações, provenham estas de Berlim, de Londres, do Sol ou do aspirador mais vizinho. O ambiente oscilatório duma an-

tena é desconcertante; ela, porém, não se perturba e transmite fielmente os impulsos recebidos. Aonde? A um circuito de oscilação, naturalmente. De fato, nada de material seria capaz de acompanhar

o ritmo vertiginoso da emissora de Berlim: oitocentas e quarenta e uma oscilações por segundo; só a eletricidade o pode aguentar. E nós giramos lentamente o botão do condensador, do aparelho de rádio, isto é, variamos a oscilação peculiar do circuito oscilatório até que ela alcance oitocentas e quarenta e um khzs. Sintonizamos o circuito com o emissor; ambos estão em ressonância, oscilam com o mesmo ritmo.

Um batalhão marchava na grande ponte de aço. As botas pe-



sadas batiam em cadência no piso e a ponte começou a estremecer. A trepidação aumentou; os grossos pilares oscilaram. Os soldados gostando disso reforçaram o passo. Cada vez mais sensíveis, as oscilações da ponte cresceram, tornaram-se inquietantes. As vigas rangiam, com um lamento sinistro.

— A ponte! — clamou alguém, horrorizado.

Tarde demais! Os pilares cederam e o piso, com a sua carga humana, precipitou-se na torrente impetuosa.

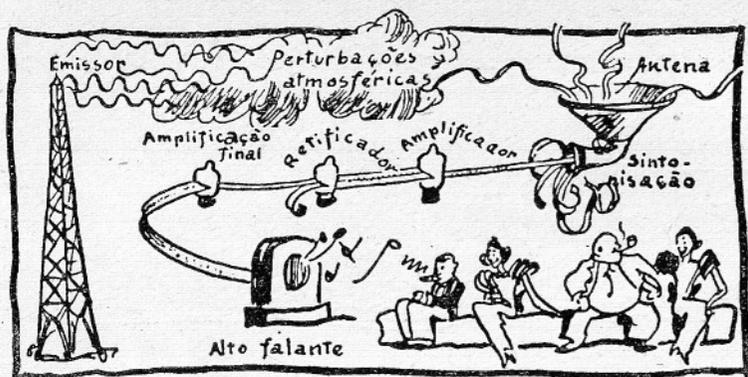
É preceito notório que não deve um número considerável de pessoas atravessar uma ponte a passo cadenciado, para evitar a reprodução dessa catástrofe, que foi causada pela ressonância. O ritmo da marcha dos homens coincidiu casualmente com a auto-oscilação da ponte. Cada novo passo imprimia novo impulso e a ponte, balançando-se cada vez mais, ruíu.

O problema de dominar as oscilações assumiu importância decisiva para a nossa técnica. Não há quem ignore, por exemplo, que um automóvel pode vibrar perceptivelmente a um número determinado de giros do motor — desde que êles lhe afetem a auto-oscilação, — e que, depois, um número ainda maior de voltas anulará o fenômeno precedente. É que estará transposta a zona crítica do nú-

mero de giros. Eixos de aço, nessa zona, são suscetíveis de partir-se como vidro.

A técnica hodierna combate a ressonância, o inimigo, onde quer que se lhe depare ensejo. A radiotelefonía, pelo contrário, a procura. De fato só em caso de ressonância, o circuito "sintonizador" poderá balancear-se até alcançar intensidade perceptível. O "acoplamento", mencionado páginas atrás, é também um fenômeno de ressonância.

A onda irradiada de Berlim através do espaço é acolhida pelo "circuito sintonizador" que, a partir daí, lhe segue o destino. Nesse circuito e no último circuito emissor, os processos se passam então



absolutamente paralelos. Lembremo-nos, porém, de que as oscilações do emissor foram moduladas. No circuito "sintonizador", palpita uma oscilação de oitocentos e quarenta e um khzs. cuja intensidade vibra com o ritmo das ondulações sonoras do emissor. (Veja des. 71). É possível reforçar, como de costume, por meio duma válvula as oscilações do circuito escolhido; mas isto nem sempre se faz. Em todo caso, prolongam-se as oscilações.

E aí intervém o ardil; enviam-se as ondas moduladas a uma válvula de detector ou retificadora que deixa passar a corrente num só sentido apenas. É como se dissessemos que êsse dispositivo corta a metade da corrente alternada e a deixa cair debaixo da mesa. É a onda que abandona a válvula de detector é uma corrente contínua "pulsativa". Ora, essa corrente reforça ainda uma ou duas vezes, até adquirir afinal intensidade capaz de influenciar a membrana dum alto-falante. Essa membrana, porém, êsse pedaço inerte de fôlha, nada registra da rápida metamorfose da onda de alta frequência; segue apenas as grosseiras ondulações do som. O alto-falante vibra no ritmo da corrente vocal, do microfone. E nós ouvimos o que se canta em Berlim.

Ah! Sim... Os chineses... As ondas elétricas, moduladas ou não, viajam a uma velocidade fixa: trezentos mil quilômetros por segundo. Percorrem, pois a distância entre a orquestra alemã, mencionada no princípio dêste capítulo, e a China, em menos dum trintavo de segundo. Os processos emissor e receptor também funcionam quase com simultaneidade, em razão justamente da reduzida inércia da força elétrica. Mas o som, com a sua velocidade de trezentos e trinta metros por segundo precisa dum têrço de segundo, para vencer os cem metros que separam a orquestra, do banco onde os dois companheiros, o gordo e o mirrado, continuam a discutir. Para chegar até ali, o som emprega mais tempo do que as ondas hertzianas, para alcançarem a China.



Corrente do alto falante