

*Coim. Univ. Universidade de Coimbra*

ANTONIO DE MEIRELLES GARRIDO

---

# O RADIOMETRO

Prateleira  2

Estante  13



COIMBRA

IMPRESA DA UNIVERSIDADE

1879



Ic  
18  
1  
1  
16

VII-A

---

b-2

IC

18

1

1

16

UNIVERSIDADE DE COIMBRA  
Biblioteca Geral



1301051725

IC  
18  
1  
1  
16

# O RADIOMETRO



671434936X

THE UNIVERSITY OF CHICAGO  
O. RADIKOMETRO

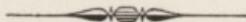
IC  
18  
1  
1  
16

ANTONIO DE MEIRELLES GARRIDO

---

# O RADIOMETRO

*Op. n.º 5374*



COIMBRA  
IMPRESA DA UNIVERSIDADE  
1879



*f6-A*

ANTONIO DE MIRELLES BARRIDO

O RADIOMETRO

INSTRUMENTO DE MEDIDA



UNIVERSIDADE DE COIMBRA  
BIBLIOTECA DE CIENCIAS  
1870

DISSERTAÇÃO DE CONCURSO

APRESENTADA

À

FACULDADE DE PHILOSOPHIA

DA

UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DISERTAÇÃO DE GRADUAÇÃO

ALBERTINA

FACULDADE DE PHILOSOFIA

UNIVERSIDADE DE COIMBRA

AO

SEU MESTRE E AMIGO

O ILL.<sup>MO</sup> E EX.<sup>MO</sup> SR.

*Dr. Antonio dos Sanctos Viegas*

Professor de Physica na Universidade de Coimbra.  
Socio da Academia Real das Sciencias e do Instituto de Coimbra.  
Commendador da Ordem da Rosa do Brasil.  
etc., etc.

*D. e C.*

*O auctor.*



Em 1873 um physico distincto e habil constructor, o sr. Crookes, depois de uma longa serie de experiencias, feitas comapparelhos, em cuja construcção manifestou sempre um admiravel tacto mechanico, apresentou ao mundo scientifico um instrumento simples e elegante—o radiometro—, por via do qual julgou a principio poder dar a demonstração experimental da acção mechanica directa da irradiação calorifica ou luminosa.

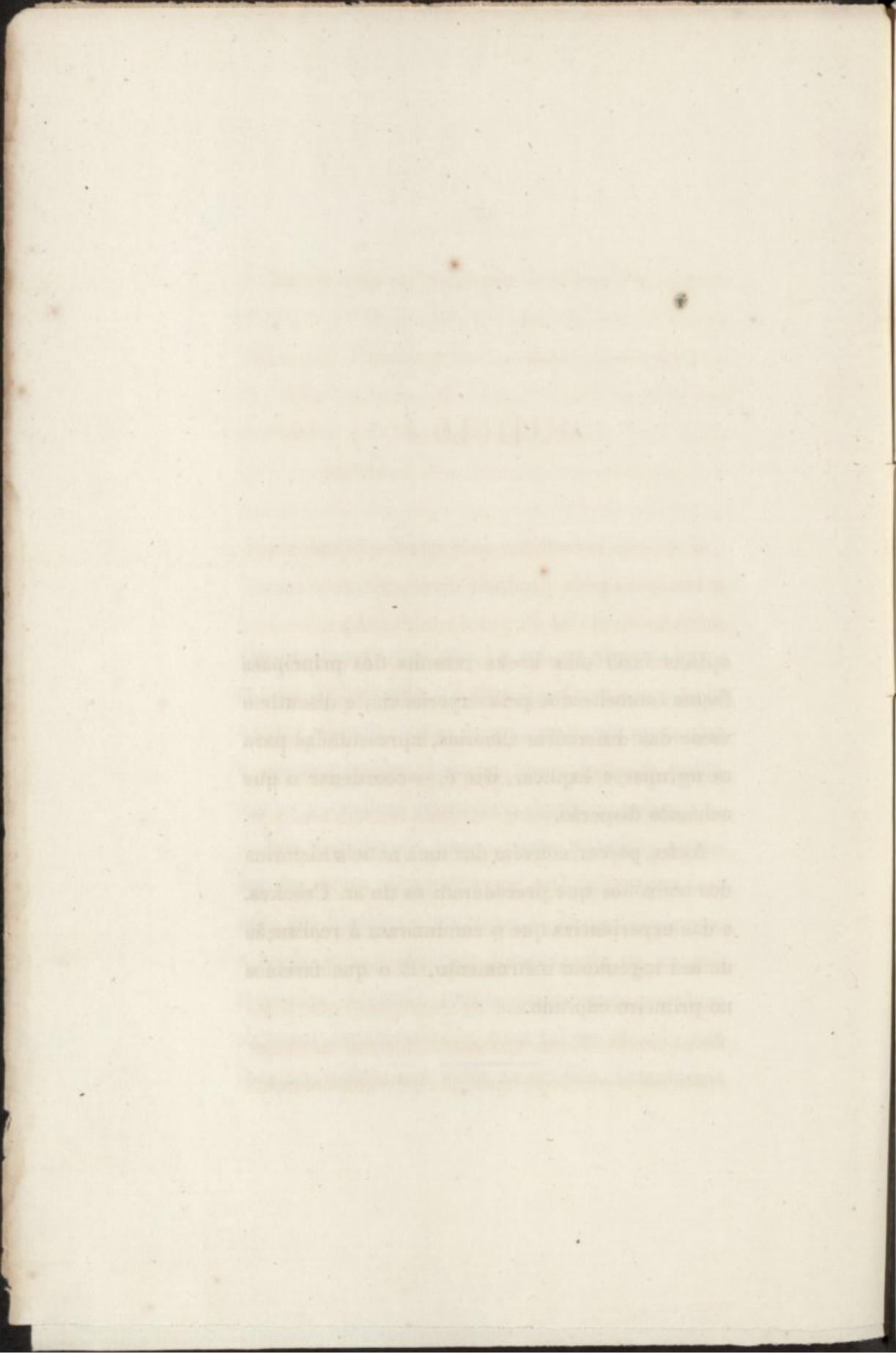
Este instrumento, já pelas interessantes experiencias que permittia realisar, já pela importancia theorica que lhe attribuia o seu auctor, excitou

vivamente a curiosidade dos sabios, abrindo largo campo á discussão e á experiencia, e originando n'estes ultimos annos grande copia de memorias e communicacões, insertas nas principaes publicacões periodicas scientificas do estrangeiro.

Não é pretensão nossa, n'este trabalho, accrescentar cousa alguma ao que está feito; para isso nem nos bastaria o curto praso de que dispomos, e ainda menos a pouca competencia de experimentador. Quando muito, poderiamos verificar algumas experiencias; e uma tal verificacão não lhes augmentaria o valor scientifico. Intentamos

apenas fazer uma breve resenha dos principaes factos estabelecidos pela experiencia, e discutir o valor das differentes theorias, apresentadas para os agrupar e explicar, isto é, — coordenar o que achámos disperso.

Antes, porém, convém dar uma noticia historica dos trabalhos que precederam os do sr. Crookes, e das experiencias que o conduziram á realisação do seu ingenhoso instrumento. É o que faremos no primeiro capitulo.



## CAPITULO I

A idéa de investigar, se a irradiação calorífica ou luminosa póde produzir directamente o movimento sensível dos corpos é muito antiga.

Já em 1696 Hartsoeker nos seus *Principios de Physica* considera a acção impulsiva dos raios solares como causa d'um grande numero de phenomenos meteorologicos, cuja verdadeira explicação era então desconhecida. Attribuia-lhe tambem, por exemplo, as variações sensíveis que se observam durante o dia na velocidade da corrente d'alguns rios, augmentativas ou diminutivas, conforme a acção impulsiva dos raios solares obra a favor ou contra o sentido natural da corrente. Para comprovar estas idéas apresenta mesmo algumas experiencias grosseiras que não merecem menção.

Na *Historia da Academia Real das Sciencias de Paris*, de 1708, Fontenelle refere duas experiencias feitas por Homberg com o fim de demonstrar a repulsão exercida pelos raios solares, quando concentrados no fóco d'um espelho ou d'uma lente de grandes dimensões. Fazendo-os convergir pelo modo indicado sobre um corpo muito leve como o amianto, por exemplo, ou sobre a extremidade livre d'uma pequena lamina de aço, Homberg observou no primeiro caso deslocações sensiveis, como se o amianto estivesse sujeito a uma corrente de ar um pouco energica, e no segundo vibrações de amplitude consideravel, semelhantes ás que se produziriam, se a extremidade livre da lamina fosse desviada da sua posição natural de equilibrio.

Alguns annos mais tarde, nas *Memorias da Academia Real das Sciencias de Paris*, de 1747, Mairan, procurando verificar experimentalmente o fundamento da hypothese de Euler, em que se attribue a posição da cauda dos cometas á acção repulsiva dos raios solares, emprehendeu conjunctamente com M. du Fay algumas experiencias

com um instrumento que recorda o actual radiometro do sr. Crookes. Consistia n'um molinete de ferro muito leve, munido de seis azas e suspenso pela extremidade superior do eixo a um pequeno magnete. Em taes condições de mobilidade os raios solares, concentrados sobre as azas d'este apparelho, faziam-n'o girar.

Variando esta experiencia, repetindo e analysando as dos seus predecessores, Mairan convenceu-se, de que a pretendida acção impulsiva dos raios solares não exercia influencia alguma sobre os movimentos observados, e que todos se podiam explicar, quer pela dilatação do ar circumdante, quer em virtude de reacções produzidas pela evaporação á superficie dos corpos sobre que incidia a irradiação.

Parece que as diversas theorias, actualmente desinvolvidas para explicar os movimentos radiometricos, tinham sido primitivamente esboçadas no espirito de Mairan.

Em 1792 A. Bennet n'uma memoria "*Sobre um novo modo de suspensão da agulha magnetica,*

*destinado a manifestar as minimas quantidades de attracção magnetica, etc.*”, descreveu algumas experiencias curiosas, relativas ao assumpto que nos occupa, d’onde, para exemplo, extrahimos as seguintes:

1.<sup>a</sup>—Suspendendo horizontalmente, dentro d’um cylindro de vidro de duas pollegadas de diametro aproximadamente, uma seda por meio d’um fio de aranha, e sujeitando este ultimo á torsão necessaria para reduzir o seu comprimento de tres a uma pollegada (4:800 revoluções), Bennet observou que, quando se aproximava um corpo quente de qualquer das extremidades da seda, se manifestava sempre uma attracção, quer ella fosse no mesmo sentido ou em sentido contrario á torsão do fio. Com um corpo frio, como, por exemplo, um bocado de gelo, uma mistura frigorifera, etc., obteve constantemente resultados inversos.

2.<sup>a</sup>—Tapou com uma rodela de papel a bocca d’um vaso de vidro de quatro pollegadas de largura, pouco mais ou menos, e fez dois buracos no papel perto dos bordos do vaso, de maneira que

correspondessem ás extremidades do mesmo diametro. Depois de o deixar por algum tempo isolado n'um recinto frio, Bennet postou-se na direcção do diametro que ligava os dois orificios, e collocou por cima do vaso um outro cheio de fumo com a bocca virada para baixo. N'estas condições observou que a maior parte do fumo descia ao vaso inferior pelo orificio mais afastado, consequencia evidente do movimento do ar n'este ultimo para o lado que tinha sido aquecido pelo calor do corpo. Esta experiencia concorda com a antecedente.

Nada mais ha digno de menção até 1824, em que Libri publicou nas *Memorias da Academia de Turin* algumas experiencias relativas ao movimento de translação, experimentado por uma gotta liquida, suspensa n'um fio metallico de que se aquecia uma das extremidades. Este physico attribue tal movimento á repulsão exercida pelo calor entre o fio metallico e a gotta.

A mesma experiencia foi repetida dez annos mais tarde pelo rev. Baden Powell, que affirma não ter observado movimento de translação sensi-

vel, a não ser uma pequena deslocação apparente, provavelmente devida a um simples effeito de evaporação do lado da gotta mais proximo da extremidade aquecida.

Nos *Annaes de Physica e Chimica*, de 1825, Fresnel refere uma experiencia, que na sua opinião demonstrava a acção repulsiva da irradiação.

Concentrando por meio d'uma lente os raios solares sobre dois pequenos discos metallicos em contacto, um fixo, outro movel na extremidade d'uma agulha magnetisada, e ambos situados n'um recipiente, cujo ar se achava sufficientemente rarefeito, observou, que se separavam quasi instantaneamente, chegando a sua distancia a attingir algumas vezes um millimetro; em quanto que, apenas retirava a lente, voltavam gradualmente á posição primitiva. Fresnel, emittindo a opinião de que os effeitos observados não deviam attribuir-se nem á electricidade ou ao magnetismo, e menos ainda ao movimento dos vestigios de ar que restavam no recipiente, indica implicitamente, que os attribue a uma acção mechanica dos raios.

Em 1827 Sagey realisou com uma balança de torsão muito delicada algumas experiencias, com o fim de determinar a acção a distancia dos corpos a differentes temperaturas. Das suas experiencias concluiu: 1.º que todos os corpos nas condições normaes exercem entre si uma pequena repulsão; 2.º que se póde observar uma attracção sensivel entre dois corpos, um frio, outro quente, ou, em geral, mesmo entre dois corpos a differentes temperaturas.

O rev. Baden Powell em 1834 publicou uma memoria "*Sobre o poder repulsivo do calor*", na qual entre outras experiencias relata uma quasi identica á que tinha sido feita por Fresnel alguns annos antes. O rev. Powell substituiu os discos metallicos por duas placas de vidro de faces perfeitamente planas. Tendo previamente o cuidado de as comprimir por fórma a adherirem perfeitamente, ainda assim o calor vencia sempre a adhesão, e muitas vezes o disco movel parecia afastar-se sensivelmente do fixo.

A principio este physico attribuia os effectos

observados principalmente á desigual dilatação, por effeito do calor, dos dois discos em contacto, dando logar a uma pequena convexidade voltada para o lado d'onde emanava a irradiação. Mais tarde, porém, variando a fórma d'esta experiencia, e observando detidamente os phenomenos pelo movimento dos anneis córados, devidos á lamina de ar existente entre as duas placas quasi em contacto, convenceu-se, de que essa causa poderia actuar, quando muito, no principio da experiencia; mas que os effeitos posteriores observados eram effectivamente devidos a uma força repulsiva, que se desinvolvia entre as duas placas de vidro. Por ultimo, em 1838, escreveu mais algumas observações sobre o mesmo assumpto, não apresentando comtudo experiencia alguma nova.

Mais tarde o dr. Joule publicou nas *Chemical news*, de 1863, uma noticia sobre um novo e sensivel thermometro, fundado no effeito perturbador das correntes de ar sobre as agulhas magneticas. Diminuindo a força directriz d'uma agulha, delicadamente suspensa por um fio sem torsão, pôde

obter um instrumento tão sensível, que se movia debaixo da influencia do calor irradiado d'um vaso, contendo uma pequena quantidade de agua a 30° e situado a uma distancia consideravel. Este instrumento, segundo affirma o dr. Joule, chegou a accusar o calor da lua.

Por ultimo, para pôr termo a esta enumeração historica de experiencias, mencionaremos um instrumento delicado, construido em 1871 pelo sr. Reynolds. Consistia apenas n'uma pequena agulha de chumbo, suspensa por um fio de aranha, dentro d'um vaso de vidro muito delgado. Este professor, que mais tarde tambem devia interferir na questão do radiometro, affirma que a agulha era energicamente attrahida debaixo da influencia do calor da mão, d'uma luz ou de qualquer outra fonte calorifica.

Estava a questão n'estes termos; havia simplesmente dispersos aqui e alli, como vimos, alguns trabalhos incompletos e experiencias pouco rigo-rosas, que não constituíam verdadeiro corpo de

doutrina, quando o sr. Crookes, por uma d'essas anomalias, que muitas vezes têm sido o ponto de partida de grandes descobertas, dirigiu a sua attenção para este lado, e encetou uma serie de trabalhos regulares, dando assim impulso a uma questão tão calorosamente debatida n'estes ultimos annos.

Vejamos em que consistiu essa anomalia.

Quando pezamos um corpo no ar, a temperaturas successivamente crescentes, observa-se uma diminuição gradual nos pezos que lhe fazem equilibrio; de maneira que o mesmo corpo parece menos pezado quando está quente de que quando está frio.

Esta anomalia apparente depende de duas causas:

1.<sup>a</sup> a dilatação pelo calor da camada de ar ou de vapor aquoso, que ordinariamente está condensada á superficie dos corpos frios, accrescendo assim á sua massa;

2.<sup>a</sup> a impulsão em sentido contrario á acção da gravidade, provocada pelas correntes debaixo

para cima, que se estabelecem nas proximidades do corpo aquecido. A esta ultima póde addiccionar-se ainda uma fracção — a que provém do excesso de ar deslocado por effeito da dilatação cubica do corpo, aliás insignificante.

O sr. Crookes, sendo surprehendido pela referida anomalia, quando tractava de determinar o pezo atomico do gallium, pensou que logo que eliminasse as causas, aquella devia desaparecer. Para isso construiu uma balança destinada a fazer as pezagens no vazio. Vendo porém a persistencia dos mesmos phenomenos, suspeitou que interferisse alguma influencia perturbadora desconhecida, que tractou de investigar.

Longe nos levaria a descripção da variedade de apparelhos que foi successivamente imaginando até ao conseguimento dos mais aperfeiçoados, e da diversidade de experiencias emprehendidas por este physico eminente: limitar-nos-hemos a registar d'um modo summario os factos positivos a que póde chegar.

Tomando um tubo de vidro terminado por uma

esphera da mesma substancia, e suspendendo horizontalmente no seu interior, por meio d'um fio sem torsão, um index de medulla de sabugueiro de fôrma prismatica, observou o seguinte:

Á pressão atmospherica os corpos quentes (uma vela accesa, um vaso com agua quente, etc.) que se aproximavam da esphera de vidro, attrahiam pouco e pouco o index, obrigando-o a seguir o seu movimento em volta do vaso.

A pressões successivamente menores os effeitos iam diminuindo de intensidade até se annullarem, para em seguida mudarem de signal, observando-se uma repulsão energica, quando o fôco irradiante era sufficientemente intenso, e o vazio attingia o maximo de perfeição que se podia obter pelos meios ordinarios. Com os corpos frios manifestavam-se os mesmos phenomenos, mas invertidos.

O sr. Crookes, modificando convenientemente as condições experimentaes, observou, que a pressão dentro do apparatus correspondente ao ponto neutro, isto é, de insensibilidade, variava entre outras com as seguintes circumstancias: natureza e fôrma

do index, relação da massa para a superficie, condições physicas da superficie, poder absorvente e irradiante, natureza do gaz contido no apparelho, intensidade da irradiação, temperatura do meio circumdante, etc. Em consequencia d'isto podiam obter-se no mesmo apparelho, e á mesma pressão, effeitos inversos com duas substancias differentes. Aquelle physico conseguiu-o, por exemplo, com um index de medulla de sabugueiro e um index de platina.

Depois da observação d'estes factos simples e geraes, e de ter nitidamente reconhecido a existencia d'uma força que repelle um corpo leve, suspenso no vazio, quando se lhe aproxima um fóco irradiante, o sr. Crookes tractou de resolver experimentalmente os problemas seguintes, que o seu espirito espontaneamente lhe propunha:

1.º Determinar a que especie de raios — calóricos, luminosos ou chimicos — se devem os phenomenos observados no vazio.

2.º Qual a influencia da natureza e côr da substancia sobre que incide a irradiação.

3.º Que relação existe entre a intensidade da acção observada e a intensidade da irradiação que a provoca.

4.º Finalmente, medir a força exercida pela irradiação.

Para a resolução d'estes problemas, o sr. Crookes necessitava deapparelhos mais aperfeiçoados e de grande sensibilidade, de maneira que, sendo postos facilmente em movimento debaixo da acção da irradiação, voltassem espontaneamente á posição primitiva, quando livres d'essa influencia.

A principio pretendeu servir-se do pendulo horizontal de Zöllner, oscillando no vazio; mas em breve reconheceu que era sensivel de mais para poder trabalhar com elle. O minimo movimento no laboratorio em que este apparelho estava montado, a agitação das ruas, emfim, qualquer variação do centro de gravidade da casa, por insignificante que fosse, era sufficiente para lhe destruir o equilibrio. Assim teve bem depressa de o abandonar e substituir por outro mais adequado ás experiencias.

Este novo apparatus compunha-se d'uma agulha de vidro muito delgada, terminada nas suas extremidades por dois pequenos discos de medulla de sabugueiro cobertos de negro de fumo, e suspensa horizontalmente dentro d'um involucro de vidro vazio e fechado á lampada. No centro da agulha havia um pequeno espelho vertical e parallelo á sua direcção.

A suspensão era feita por meio d'um fio de vidro muito fino, e a sensibilidade do apparatus dependia evidentemente, *cæteris paribus*, da relação entre o comprimento e o diametro. Os fios de vidro pela sua perfeita elasticidade preenchiam admiravelmente o fim, fazendo voltar a agulha á posição primitiva, qualquer que fosse a torsão a que estivessem sujeitos, com tanto que não se excedesse o limite de elasticidade. O sr. Crookes, procedendo a ensaios preparatorios com fios d'esta natureza, sufficientemente compridos, suspendendo-lhes barras horizontaes de pequeno pezo, observou que, fazendo-os executar mais de cem revoluções completas, e mantendo-os durante algum tempo n'esta

nova posição, ainda assim voltavam depois exactamente á posição primitiva.

Para trabalhar com este instrumento, o sr. Crookes nivelava-o primeiro com todo o cuidado, e depois de preservado contra a irradiação exterior, fazia incidir sobre o espelho, situado na parte media da agulha de vidro, um raio de luz electrica, que se reflectia debaixo da fórma d'um ponto luminoso n'uma escala graduada, collocada a distancia. O zero da escala coincidia com a posição do ponto luminoso, quando o apparelho estava em repouso. N'estas condições o minimo movimento angular da agulha provocava um desvio do ponto luminoso para a direita ou para a esquerda do zero, conforme a acção era attractiva ou repulsiva. A extensão d'este desvio dependia da distancia da escala.

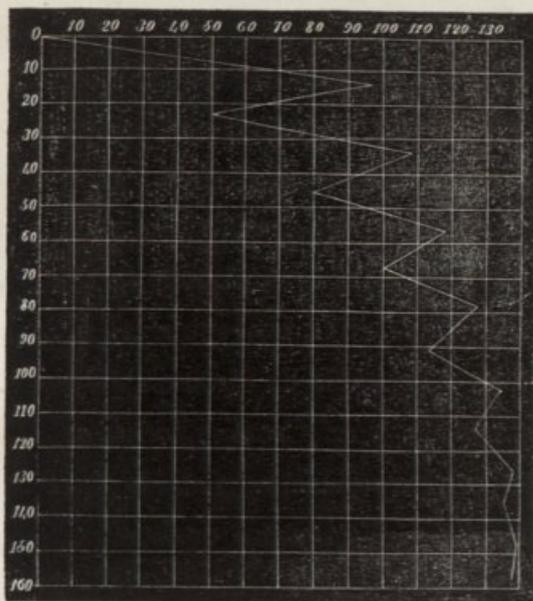
D'esta fórma o sr. Crookes conseguia grande precisão nas experiencias, reunida á facilidade de poder fazer observações qualitativas e quantitativas.

A sensibilidade do seu instrumento era tal, que bastava aproximar um dedo d'uma das extremi-

dades da agulha, para immediatamente o ponto luminoso se deslocar alguns centímetros.

A fig. 1.<sup>a</sup> representa graphicamente o curso d'uma experiencia do sr. Crookes, em que sujeitou o aparelho á acção contínua d'uma fonte de irradiação uniforme.

Fig. 1.<sup>a</sup>



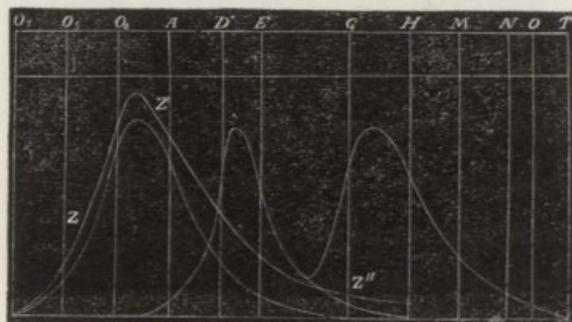
A sua inspecção mostra que a amplitude das oscillações diminue successivamente até se an-

nullar, em quanto que o desvio total augmenta. As oscillações são proximamente isochronas, sendo o periodo de 23 segundos.

Para resolver o primeiro problema, o sr. Crookes sujeitou o seu instrumento á acção successiva de cada um dos raios simples do espectro, extendendo as suas observações áquem e além da parte luminosa. Os resultados obtidos n'esta experiencia vem expressos numericamente na tabella seguinte, em que 100 representa o effeito maximo.

Ultra rubro .....	100
Rubro extremo .....	85
Rubro .....	73
Alaranjado.....	66
Amarello .....	57
Verde .....	41
Azul.....	22
Anil.....	8,5
Violeta .....	6
Ultra violeta .....	5

A representação graphica dos mesmos resultados acha-se exarada na curva  $Z, Z', Z''$  da fig. 2.<sup>a</sup>, em que estão descriptas as curvas de intensidade das tres manifestações diversas da irradiação solar — calorifica, luminosa e chimica.

Fig. 2.<sup>a</sup>

Vê-se pois que a acção observada, longe de ser um attributo privativo d'uma classe de raios, é pelo contrario uma funcção complexa de todas tres.

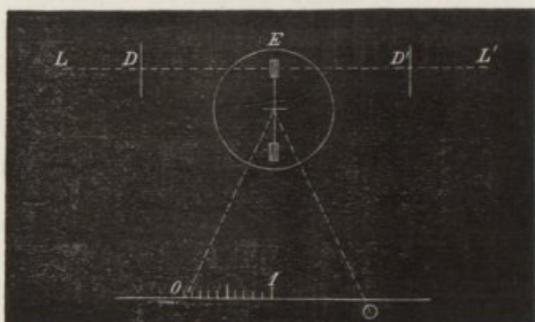
Modificando o apparelho em ordem a poder substituir pelos discos de medulla de sabugueiro defumados, outros cobertos de varias substancias, e sujeitando-os successivamente á acção d'uma luz

situada a uma distancia constante, o sr. Crookes obteve os resultados seguintes:

Medulla de sabugueiro defumada ..	100
Iodureto de palladio .....	87,3
Precipitado de prata .....	56
Phosphoro amorpho .....	40
Sulphato de bario .....	37
Leite de enxofre .....	31
Oxido de ferro vermelho .....	28
Iodureto rubro de mercurio e cobre	22
Prata coberta de negro de fumo ...	18
Medulla de sabugueiro .....	18
Carbonato de chumbo .....	13
Sal gemma.....	6,5
Vidro.....	6,5

Estes numeros resolviam-lhe o segundo problema: provam superabundantemente a variabilidade da intensidade da acção com a natureza e côr das substancias em experiencia.

Para a resolução do terceiro, o sr. Crookes recorreu de novo ao aparelho nas condições primitivas. A fig. 3.<sup>a</sup> representa a projecção horizontal da disposição da experiencia. Sigamol-a no seu curso:

Fig. 3.<sup>a</sup>

a) Collocando defronte das faces oppostas do disco E, e á mesma distancia, duas luzes L e L' da mesma força, o equilibrio mantinha-se com pequenas alterações, quando levantava os diaphragmas D, D'.

Estas alterações eram devidas á impossibilidade de obter duas luzes, cuja intensidade fosse simultaneamente igual em todos os instantes.

b) Se em  $L'$ , em vez d'uma só luz, collocava duas eguaes em intensidade a  $L$ , ou uma de intensidade dupla, era necessario, para que o ponto luminoso não se deslocasse na escala, isto é, para que o equilibrio se conservasse, que fosse

$$\overline{L'E}^2 = 2 \overline{LE}^2. (*)$$

c) Não pretendendo mais produzir equilibrio, e procedendo á simples medida na escala da acção impulsiva d'uma mesma fonte, collocada a

---

(\*) Estas experiencias indicam que este apparelho poderia ser empregado como photometro; como porém na photometria practica se pretende exclusivamente determinar o poder illuminador, e como os effeitos obtidos com o apparelho do sr. Crookes são o resultado da acção simultanea das irradiações luminosas, calorificas e chemicas, seria necessario eliminar previamente do fóco irradiante estas duas ultimas especies de raios pelos meios conhecidos, o que complicaria por certo modo as experiencias.

differentes distancias, obteve os resultados seguintes :

Distancias da fonte luminosa	Deslocamentos na escala
1 <sup>m</sup> ,98 .....	218°
3 <sup>m</sup> ,96 .....	54
5 <sup>m</sup> ,94 .....	24,5
7 <sup>m</sup> ,92 .....	13
1 <sup>m</sup> ,33 .....	77
2 <sup>m</sup> ,66 .....	19
3 <sup>m</sup> ,99 .....	8,5

O exame d'esta tabella mostra, que os numeros que exprimem os deslocamentos, seguem proxima-mente a lei theorica da variação na razão inversa do quadrado das distancias; e como por outro lado sabemos, que as intensidades seguem a mesma lei, podemos concluir, que a acção impulsiva da irradiação é proporcional á sua intensidade. Além de que o sr. Crookes verificou esta mesma lei por experiencias directas.

Resta-nos apresentar o modo como este physico se houve na resolução do quarto problema, isto é, na avaliação da força produzida pela irradiação.

Prevê-se immediatamente que, conhecendo o pezo da agulha de vidro, a força de torsão do fio, a duração das oscillações e a extensão da superficie sobre que incide a irradiação, se pôde medir indirectamente, por meio da balança de torsão anteriormente descripta, a força necessaria para produzir um dado angulo de desvio.

O sr. Crookes, comtudo, abandonou este methodo, adoptando outro, que lhe permittia avaliar directamente a força, expressa em unidades de pezo.

Para este effeito foi-lhe necessario adoptar uma nova disposição para a sua balança, que passamos a descrever summariamente.

Uma agulha muito leve, tendo n'uma das suas extremidades uma lamina de medulla de sabugueiro, coberta de negro de fumo na face que volta para cima e de 55 millimetros quadrados de superficie, equilibra se horizontalmente por meio

d'um contrapezo collocado na outra extremidade, sobre um fio de vidro muito fino, sujeito a uma tracção constante, e disposto tambem horizontalmente, mas de maneira a ficar em cruz com a agulha. Por uma das suas extremidades este fio acha-se ligado a um botão exterior, por via do qual se póde sujeitar a uma torsão determinada. Perto d'este botão está disposto um circulo graduado, dividido em 360 grãos, e um contador, permittindo esta disposição contar o numero de voltas e fracções de volta, correspondentes a uma dada torsão. A agulha acha-se solidariamente ligada ao fio, de maneira que a lamina de medulla de sabugueiro representa o prato d'uma balança; e além d'isto tem na sua parte media um pequeno espelho horizontalmente disposto, voltando para cima a sua face reflectora. Todo o apparatus se colloca dentro d'um involucro de vidro, adequado á sua fórma e onde se faz o vazio tão perfeito quanto possivel.

N'estas condições, uma pressão, por pequena que seja, exercida sobre a lamina de medulla de

sabugueiro, produzirá evidentemente um abaixamento da parte correspondente da agulha, e será necessario, para que a horizontalidade se restabeleça, fazer girar o botão de torsão um certo numero de voltas em sentido contrario.

Ora, como para fios perfeitamente elasticos (os de vidro estão n'este caso) a força de torsão é directamente proporcional ao angulo de torsão, podemos facilmente, quando se conhece o angulo correspondente a uma certa força, calcular a força correspondente a um determinado angulo; e como esta faz equilibrio á pressão exercida sobre a lamina de medulla de sabugueiro, teremos por tal fórma determinado est'outra.

Assim, sendo

$$n \times 360^\circ + a$$

o numero de grãos de que foi necessario torcer o fio para restabelecer a horizontalidade debaixo da pressão do pezo conhecido  $p$ , e

$$n' \times 360^\circ + a'$$

o numero de grãos de que foi necessario torcel-o  
debaixo d'uma pressão desconhecida P,

$$P = \frac{n' \times 360^\circ + a'}{n \times 360^\circ + a} P$$

representará o valor d'essa pressão.

Relatemos agora resumidamente algumas das  
experiencias que o sr. Crookes realisou com o seu  
novo aparelho.

Fazendo reflectir sobre o espelho horizontal um  
raio de luz quasi vertical, projectava no tecto do  
laboratorio um ponto luminoso, cuja posição cor-  
respondia ao zero d'uma escala dividida. Collocando  
em seguida, por via d'um magnete, sobre o prato  
da balança um pequeno fragmento de ferro que  
existia dentro do aparelho, e que pezava  $\frac{1}{100}$  de  
grão ( $0^{\text{gr}},0004979$ ), o ponto luminoso soffria imme-  
diatamente um deslocamento consideravel, e para  
voltar a zero era necessario fazer girar o botão  
certo numero de vezes em sentido contrario.

Examinando depois o contador e o circulo divi-

dido, achou que o numero de grãos, de que tinha torcido o fio, era

$$27 \times 360^\circ + 301^\circ = 10021^\circ.$$

Conhecia assim os elementos necessarios.

Destorcendo completamente o fio e retirando o pezo do prato (o que tambem podia facilmente conseguir com o magnete auxiliar) fez incidir verticalmente sobre a balança a luz d'uma vela, situada a 0<sup>m</sup>,15 de distancia. Produziu-se immediatamente o deslocamento do ponto luminoso.

Torcendo de novo o fio até este ultimo voltar a zero, e tornando a examinar o contador e o circulo dividido, achou

$$4 \times 360^\circ + 188^\circ = 1628^\circ.$$

Logo: o valor da pressão que soffria a lamina de medulla de sabugueiro n'esta experiencia era

$$x = \frac{1628^\circ}{10021^\circ} \times 0^{\text{sr}},0004979.$$

Fez ainda outras experiencias analogas com diversos fócios de irradiação, collocados a distancias variaveis, determinando em cada caso particular o valor da pressão sustentada pela lamina de medulla de sabugueiro.

Servindo-se do mesmo apparelho calculou em perto de 20 grammas a pressão exercida sobre um metro quadrado pela irradiação solar no meio do estio em Londres. Diremos de passagem, que este numero é infinitamente superior ao que resultou dos calculos feitos pouco antes pelo professor Clerk-Maxwell, para medir a força impulsiva do ether em vibração, partindo de considerações differentes.

Posto isto, vejamos como o sr. Crookes se foi encaminhando para a descoberta do radiometro.

Na tabella da pag. 32 vê-se, que a acção exercida sobre um disco de medulla de sabugueiro por uma luz situada a distancia fixa, é proxima-mente cinco vezes e meia mais intensa, quando

esse disco se acha coberto de negro de fumo, do que no seu estado natural.

A consideração d'esta differença levou o sr. Crookes á construcção d'um pequeno apparelho de rotação contínua, sem ser necessario concentrar a luz exclusivamente sobre um ponto determinado. N'este proposito tomou uma pequena lamina de sabugueiro de fórma rectangular, e cobriu de negro de fumo metade de cada uma das suas faces, de fórma que em opposição á parte negra d'uma face correspondesse a parte branca da outra. Suspendendo esta lamina por um fio de seda dentro d'um vaso de vidro vazio tinha conseguido o apparelho.

Debaixo da influencia d'uma luz qualquer, a metade negra da face voltada para a luz soffre uma pressão cinco vezes e meia maior que a outra metade, resultando d'ahi um movimento angular (a parte negra repellida), cuja extensão depende da intensidade da irradiação.

Se a irradiação fôr sufficiente para obrigar a lamina a descrever uma semi-circumferencia, esta ficará de novo nas mesmas circumstancias que no

principio do movimento, por effeito da disposição das partes negras e brancas nas duas faces; e a rotação terá logar. A velocidade irá augmentando até um maximo, para em seguida diminuir até se annullar, em consequencia da resistencia successivamente crescente do fio. N'esta altura, depois d'algumas oscillações de amplitude decrescente, a lamina ficará em equilibrio.

Mais tarde, desejando conseguir maior sensibilidade, substituiu a lamina rectangular de medulla de sabugueiro por um molinete formado por duas laminas identicas á anterior e dispostas em cruz.

Finalmente a torsão do fio, impedindo sempre, depois d'um certo tempo, a continuação do movimento d'esse molinete, o sr. Crookes teve a idéa de o equilibrar sobre a ponta d'um eixo.

Por esta fórma devia obter um apparelho de rotação constante debaixo da influencia da irradiação.

Tal foi a origem do radiometro.

---

The first part of the paper is devoted to a general  
 consideration of the problem. It is shown that the  
 problem is equivalent to the problem of finding  
 the minimum of a certain function. This function  
 is defined by the following expression:  

$$F(x) = \int_0^1 f(x, y) dy$$
 where  $f(x, y)$  is a function of  $x$  and  $y$ . The  
 function  $f(x, y)$  is assumed to be continuous  
 and to satisfy the conditions  
 $f(x, 0) = 0$  and  $f(x, 1) = 0$ .  
 The minimum of  $F(x)$  is sought for in the  
 interval  $0 \leq x \leq 1$ . It is shown that the  
 minimum is attained at  $x = 0$  or  $x = 1$ .  
 The second part of the paper is devoted to a  
 detailed study of the case in which the minimum  
 is attained at  $x = 0$ . It is shown that in this  
 case the function  $F(x)$  has a unique minimum  
 at  $x = 0$ . The third part of the paper is  
 devoted to a study of the case in which the  
 minimum is attained at  $x = 1$ . It is shown  
 that in this case the function  $F(x)$  has a  
 unique minimum at  $x = 1$ . The fourth part  
 of the paper is devoted to a study of the case  
 in which the minimum is attained at an interior  
 point of the interval  $0 < x < 1$ . It is shown  
 that in this case the function  $F(x)$  has a  
 unique minimum at an interior point of the  
 interval  $0 < x < 1$ . The fifth part of the  
 paper is devoted to a study of the case in  
 which the minimum is attained at more than one  
 point of the interval  $0 \leq x \leq 1$ . It is shown  
 that in this case the function  $F(x)$  has a  
 minimum at more than one point of the interval  
 $0 \leq x \leq 1$ . The sixth part of the paper  
 is devoted to a study of the case in which the  
 minimum is not attained at any point of the  
 interval  $0 \leq x \leq 1$ . It is shown that in this  
 case the function  $F(x)$  does not have a  
 minimum at any point of the interval  $0 \leq x \leq 1$ .

## CAPITULO II

O radiometro, na sua fórma mais aperfeiçoada e vulgar, compõe-se d'um molinete de quatro braços em cruz, movel em volta d'um eixo vertical e convenientemente disposto no meio rarefeito d'um vaso de vidro de fórma ovoide, que se apoia sobre uma peanha de madeira. Os seus braços, ligados no centro por uma peça de vidro de fórma conica, por cuja concavidade se equilibram horizontalmente sobre a extremidade superior d'uma agulha vertical de aço, terminam-se por azas, cobertas de negro de fumo por um lado e polidas pelo outro, e por tal fórma orientadas, que todas as faces da mesma côr fiquem voltadas no mesmo sentido.

Accresce ainda, n'alguns apparatus, um pequeno tubo de vidro, que desce da sua parte

superior na direcção do eixo, e que, envolvendo pela sua extremidade inferior a peça conica sem a tocar, constitue uma especie de freio, que, não obstante ao movimento, impede qualquer deslocação inconveniente do molinete. Esta ultima disposição torna o apparelho sobre maneira commodo e transportavel.

Desde a epocha, em que o radiometro sahiu pela primeira vez das mãos do sr. Crookes, têm-se construido uma infinidade d'estes instrumentos, variando já a natureza da substancia de que são constituidas as azas, já a sua fórma, côr, dimensões, etc. Os mais vulgares têm as azas, de mica calcinada, ennegrecidas d'um lado. Tem sido mesmo algumas vezes modificada a fórma typica do radiometro, ordinariamente com o fim de o affeiçoar a experiencias especiaes, como teremos occasião de ver.

As condições essenciaes para bem funcionar esta delicada machina rotatoria são: pequeno pezo do molinete, extensão sufficiente da superficie das azas, e o gráo conveniente de vazio dentro do involucro de vidro.

Debaixo da acção d'uma luz, situada a pequena distancia, o molinete começa a girar com uma velocidade crescente até um maximo, que se mantém constante, enquanto se não altera a fonte de irradiação. Removendo-se a luz, a velocidade decresce até se extinguir. O sentido do movimento é constantemente determinado pela posição das faces negras, que parecem ser repellidas.

Á luz intensa do sol a velocidade do molinete é extraordinariamente grande. N'estas condições chega a tornar-se impossivel contar o numero de voltas effectuadas n'um minuto; a fórma das azas deixa de perceber-se, para apenas se distinguir um annel nebuloso. Com a luz electrica observam-se quasi os mesmos effeitos.

Uma fonte de calor obscuro de temperatura superior a  $250^{\circ}$  produz um movimento no mesmo sentido, mas menos rapido; antes d'essa temperatura o calor obscuro parece exercer uma acção repulsiva egual sobre as faces negras e polidas.

Contando o numero de voltas que faz o molinete no mesmo tempo debaixo da influencia d'uma fonte

de irradiação, collocada a differentes distancias, conclue-se, que a velocidade do movimento varia na razão inversa do quadrado das distancias entre o fóco e o radiometro.

Fazendo variar a intensidade da irradiação, e conservando a distancia constante, vê-se que a velocidade do molinete é proporcional a essa intensidade dentro de certos limites: ultrapassando-os, duas luzes de differente intensidade produzem o mesmo effeito, não podendo a velocidade do radiometro crescer indefinidamente.

Estes dois ultimos resultados estão, como vemos, em perfeita harmonia com as experiencias feitas pelo sr. Crookes antes da construcção do radiometro.

A interposição de vidros córados faz diminuir, mas não muito, a velocidade do radiometro. Os vidros azues e verdes, que são os que exercem uma acção mais energica, não chegam a reduzi-la a metade. A subtracção do calor obscuro, coando a luz por um vaso de vidro com agua, reduz a velocidade quasi á quarta parte. O sr. Crookes,

fazendo estas experiencias, obtive os resultados expressos na tabella seguinte :

Fóco irradiante.....	100
»       »       através d'um vidro amarello..	89
»       »       »       »       »       encarnado	71
»       »       »       »       »       azul.....	56
»       »       »       »       »       verde ...	56
»       »       »       da agua (*).....	26

(\*) Estes resultados parecem divergir alguma cousa dos observados por outros experimentadores com fontes luminosas de intensidade diversa : por quanto as relações entre os numeros que exprimem as velocidades do molinete nas diferentes phases da experiencia, e que podemos observar nas tabellas respectivas, differem sensivelmente das que se deduzem dos numeros que deixamos consignados. Esta divergencia resultaria da falta de identidade das laminas córadas que a luz atravessa nas diferentes experiencias? Ou seria consequencia da diversa intensidade dos fócios? A questão póde resolver-se facilmente experimentando com fócios de diferente intensidade e conservando os mesmos diaphragmas.

Além d'estas experiencias geraes que acabamos de referir, tem-se feito um sem numero de observações especiaes, variando já de radiometro, já de centro de acção. Na impossibilidade de apresentar um catalogo completo, mencionaremos as que se nos afiguram como importantes e de maior interesse.

a) Um radiometro, que tenha as faces das azas todas da mesma côr, permanece insensivel a não ser que a luz incida exclusivamente sobre as faces das azas que ficam do mesmo lado.

b) Substituindo nas azas as duas faces, differentemente coloridas, por duas laminas juxtapostas, uma metallica e outra de qualquer substancia, de mica natural por exemplo, obtêm-se radiometros muito sensiveis. N'estes, debaixo da influencia da luz, a face metallica representa o papel da face negra dos radiometros ordinarios — é repellida.

c) Nos radiometros, em que as duas laminas que compõem a aza são metallicas, é repellida a face que se aquece mais facilmente. Assim n'um radiometro de azas de prata e de aluminio é este repellido,

porque o seu poder absorvente é superior ao da prata.

d) Os radiometros, cujas azas são constituídas por uma substancia conductora, e affectam varias fórmas, taes como de concha, conica, etc. fornecem resultados interessantes e imprevistos. Apresentemos, para exemplo, um resumo dos resultados das experiencias feitas pelo sr. Crookes com radiometros de azas de aluminio em fórma de concha, resultados que foram directamente communicados por este physico ao sr. Theodoro de Moncel, e que este depois apresentou á Academia Real das Sciencias :

1.<sup>a</sup> EXPERIENCIA:

Radiometro de azas de aluminio polidas e em fórma de concha

1. <sup>a</sup> phase...	{	Condições da experiencia....	{	Luz incidindo sobre as faces oppostas de duas azas consecutivas.
	{	Resultados .....	{	Movimento continuo — faces convexas repellidas. Uma revolução em 3 <sup>s</sup> , 37.
2. <sup>a</sup> phase...	{	Condições da experiencia....	{	Luz incidindo exclusivamente sobre as faces convexas.
	{	Resultados .....	{	Movimento continuo — faces convexas repellidas. Uma revolução em 7 <sup>s</sup> , 5.
3. <sup>a</sup> phase...	{	Condições da experiencia....	{	Luz incidindo exclusivamente sobre as faces concavas.
	{	Resultados .....	{	Movimento continuo — faces concavas attrahidas. Uma revolução em 6 <sup>s</sup> , 95.

*Observação.*—As velocidades, obtidas na 2.<sup>a</sup> e 3.<sup>a</sup> phase da experiencia, provam que a acção da irradiação é quasi igual sobre as duas faces; e a velocidade dupla obtida na 1.<sup>a</sup> phase é a consequencia da somma das duas acções.

2.<sup>a</sup> EXPERIENCIA:

0 mesmo radiometro com as faces concavas cobertas de negro de fumo

1.<sup>a</sup> phase... { Condições da experiencia... } Luz incidindo sobre as faces oppostas de duas azas  
 { Resultados ..... } consecutivas. } Movimento continuo — faces convexas repellidas.

2.<sup>a</sup> phase... { Condições da experiencia... } Luz incidindo exclusivamente sobre as faces con-  
 { Resultados ..... } vexas. } Movimento nullo.

3.<sup>a</sup> phase... { Condições da experiencia... } Luz incidindo exclusivamente sobre as faces con-  
 { Resultados ..... } cavas. } Movimento continuo — faces concavas attrahidas.

3.<sup>a</sup> EXPERIENCIA :

0 mesmo radiometro com as faces convexas cobertas de negro de fumo

1. <sup>a</sup> phase...	{	Condições da experiencia....	{	Luz incidindo sobre as faces oppostas de duas azas consecutivas.
	{	Resultados .....	{	Movimento continuo — faces convexas repellidas.
2. <sup>a</sup> phase...	{	Condições da experiencia....	{	Luz incidindo exclusivamente sobre as faces convexas.
	{	Resultados .....	{	Movimento continuo — faces convexas repellidas.
3. <sup>a</sup> phase...	{	Condições da experiencia....	{	Luz incidindo exclusivamente sobre as faces convexas.
	{	Resultados .....	{	Movimento nullo.

4.<sup>a</sup> EXPERIENCIA:

0 mesmo radiometro com as faces concavas e convexas cobertas de negro de fumo

- |                          |                                                         |                                                                                                                                                                                                     |
|--------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. <sup>a</sup> phase... | { Condições da experiencia... }<br>{ Resultados ..... } | { Luz incidindo sobre as faces oppostas de duas azas consecutivas. }<br>{ Movimento continuo — faces convexas repellidas. }                                                                         |
| 2. <sup>a</sup> phase... | { Condições da experiencia... }<br>{ Resultados ..... } | { Luz incidindo exclusivamente sobre as faces convexas. }<br>{ Movimento continuo — notavelmente enfracuecido. }<br>{ Faces convexas repellidas. }                                                  |
| 3. <sup>a</sup> phase... | { Condições da experiencia... }<br>{ Resultados ..... } | { Luz incidindo exclusivamente sobre as faces concavas. }<br>{ Movimento continuo — mais lento que na 1. <sup>a</sup> phase, mais rapido que na 2. <sup>a</sup> }<br>{ Faces convexas repellidas. } |

O sr. Crookes variou em extremo estas experiencias, construindo radiometros com azas de papel, medulla de sabugueiro, etc. de fórmias diversas, e obteve sempre resultados muito complexos e rebeldes a qualquer explicação.

e) O calor obscuro tambem não actua do mesmo modo sobre todos os radiometros.

O sr. Crookes, experimentando com radiometros de azas de aluminio, em fórmula de lozango, com uma das faces coberta de negro de fumo, affirma que são mais sensiveis ao calor obscuro do que á luz, girando em sentido contrario nos dois casos. Accrescenta, comtudo, que o movimento anormal só persiste emquanto se mantém uniforme a temperatura dentro do apparelho.

Por outro lado um habil constructor, o sr. Alvergnyat, communicando á Academia Real das Sciencias os resultados de algumas experiencias feitas com sete radiometros differentes, que acabavam de sahir da sua officina, obteve os resultados acima indicados pelo sr. Crookes, com radiometros de azas de aluminio e de mica natural, e

nunca, quando as faces de mica eram cobertas de negro de fumo.

Estes resultados, na apparencia extraordinarios, e além d'isso discordantes entre si, foram verificados pelo sr. Bertin com todo o rigor pela fórma seguinte:

Dispôz por ordem os radiometros do gabinete de physica da Eschola Normal, entre os quaes se achavam os typos que correspondiam ás experiencias do sr. Crookes e do sr. Alvergniat; e depois de notar em cada um o sentido do seu movimento debaixo da acção da luz, aproximou d'elles na obscuridade uma placa de ferro muito quente.

Só em dois dos radiometros em experiencia (os que tinham as azas compostas de mica natural e d'um metal) o sentido do movimento mudou de signal, em quanto que se conservou positivo em todos os outros radiometros, incluindo aquelle que correspondia ao typo apresentado pelo sr. Crookes.

D'este modo concluiu, em opposição com a affirmação d'este physico, que todos os radio-

metros de azas defumadas d'um lado são influenciados da mesma fórma pela luz ou pelo calor obscuro; emquanto que todos aquelles, cujas azas são compostas d'um metal e de mica natural, se movem em sentido contrario debaixo da influencia da luz ou do calor obscuro.

Por extranhar ainda assim a opposição dos effeitos produzidos por causas identicas na sua essencia, levou mais longe as suas investigações, sujeitando os radiometros anomalos á irradiação d'uma lampada de Drummond, depois de atravessar uma solução de sulphureto de carbono iodado, que absorve completamente os raios luminosos.

N'estas condições todos os radiometros se moviam no sentido normal, posto que mais lentamente do que quando se expunham á irradiação completa.

O sr. Bertin interpretou a contradicção apparente entre as suas duas experiencias, attribuindo o resultado da primeira ao aquecimento do involucro de vidro dos radiometros, e reformou as conclusões acima apresentadas pela seguinte fórma:

«os radiómetros, metal e mica natural, giram em sentido contrario debaixo da influencia d'uma fonte afastada e do aquecimento do seu involucro.»

O sentido do movimento, dependendo do signal da resultante das duas acções, comprehende-se facilmente como se possa inverter.

Este physico corroborou o seu modo de ver por uma experiencia decisiva, que lhe lembrou o sr. Alvergniat.

Sujeitando os dois radiómetros em questão á acção d'uma fonte luminosa muito afastada, e diminuindo progressivamente a distancia, observou, que o movimento, a principio positivo, mudou de signal, logo que a fonte luminosa se aproximou o sufficiente para produzir o aquecimento do involucro.

Expostas algumas das principaes observações feitas sobre os radiómetros, sujeitando-os a fontes de irradiação, quer luminosa quer calorifica, vejamos agora quaes os effeitos que se produzem, quando fazemos actuar sobre estes instrumentos uma fonte de frio.

As experiencias confirmam os resultados que a mudança de signal na irradiação fazia prever.

a') Rodeados de gelo, os radiometros giram em sentido contrario ao movimento normal; excepto aquelles que pertencem ao typo apresentado pelo sr. Alvergniat. Estes, com effeito, devem tomar uma rotação inversa da que produziria o aquecimento do involucro.

Os srs. Bertin e Alvergniat fizeram numerosas experiencias d'este genero com a variedade de instrumentos de que podiam dispor, e acharam constante a lei acima enunciada.

b') O sr. W. de Fonvielle apresenta experiencias feitas de collaboração com o sr. Darlu de Roissy no gazometro de Vilete com um radiometro sahido das officinas do sr. Gaiffe, que concordam com os resultados precedentes.

Expondo-o durante cinco minutos a uma temperatura de 45°C. e mergulhando-o em seguida rapidamente n'um banho de agua a 15°C., estes physicos observaram o seguinte: o movimento normal obtido na primeira phase da experiencia

extinguia-se; o molinete estacionava durante um tempo inapreciavel, e em seguida começava a girar em sentido inverso, com uma velocidade rapidamente crescente, attingindo em breve volta e meia por segundo. Este movimento terminava logo que o radiometro se achava em equilibrio de temperatura com o meio ambiente.

c') O sr. Righi fez notar, que para obter o movimento *dextrorsum* ou *sinistrorsum* do radiometro, não é necessario immergil-o em banho de agua quente ou fria; basta deixal-a cahir simplesmente em fio sobre um ponto qualquer da superficie do seu involucro. O ponto sujeito exerce uma acção repulsiva ou attractiva sobre as azas do molinete, conforme a agua se acha a uma temperatura superior ou inferior á do radiometro.

Os radiometros anomalos deram n'estas circumstancias resultados inversos, como era de presumir.

O sr. Jamin fez com um d'estes radiometros uma variante d'esta experiencia que merece menção.

Tendo mergulhado n'um vaso de agua quente um radiometro de azas de aluminio e de mica na-

tural, fez incidir sobre um ponto determinado da superfície do seu involucro um fasciculo luminoso. Depois de algumas tentativas, pôde fazer cessar o movimento de rotação, em virtude das acções contrarias da luz e do calor obscuro, e reduzi-lo a simples oscillações. Fazendo variar a distancia da luz, a amplitude das oscillações variava conjunctamente.

Prevê-se que, experimentando com um radiometro normal, se devem obter os mesmos resultados, immergindo-o no gelo, e fazendo incidir uma luz ou um fio de agua quente sobre um ponto do seu involucro.

*d')* Com radiometros sensiveis consegue-se muitas vezes o movimento de reacção, sem que seja necessario arrefecer artificialmente o meio ambiente. Basta geralmente supprimir ou afastar a fonte de calor.

O sr. Bertin affirma, que os radiometros de azas, compostas de aluminio e de mica defumada, podem attingir uma sensibilidade tal, que uma pequena nuvem, que passe por diante do sol durante o seu

movimento, é sufficiente para lhe fazer mudar o sentido. Em experiencias que fez com um tal radiometro observou muitas vezes alternativas no movimento, sem lhe poder assignar a verdadeira causa, tão grande era a sua sensibilidade.

Para que com os radiometros anormalos se manifeste reacção pela simples suppressão da fonte irradiante, é necessario que o seu movimento directo tenha sido provocado pela aproximação d'uma placa quente ou pelo calor das mãos.

---



### CAPITULO III

Até aqui temos apresentado os factos principaes que se observam no estudo experimental dos movimentos do radiometro, sem nos preoccuparmos com a sua causa, sem ensaiarmos theoria alguma explicativa para as diversas modalidades que nos apresentam os phenomenos na sua immensa variedade.

Este methodo, que nos pareceu preferivel, não só familiarisa o leitor com os resultados practicos das experiencias, antes de entregar o espirito a especulações theoricas, que vêm quasi sempre prematuras, mas tambem permite um agrupamento mais regular d'esses resultados, agrupamento que seria muito difficil de realisar, se á exposição dos factos entremeassemos a cada passo as explicações

correspondentes ás diversas theorias que disputam entre si a supremacia.

No presente capitulo intentamos ordenar em resumo as differentes theorias que se têm proposto para explicar os movimentos radiometricos; ver até que ponto os factos as corroboram ou contradizem; e estabelecer finalmente o seu valor comparativo.

Faremos por adherir quanto possivel ao methodo historico, de reconhecida vantagem quando se pretende expôr uma questão tão recente como esta, que ainda ha pouco deixou livre a tela da discussão; por quanto este methodo permite seguir, por assim dizer *ab initio*, as differentes phases da sua evolução. Além de que exprime as mais das vezes a lei natural do espirito na aquisição dos conhecimentos.

Isto, comtudo, não quer dizer que apresentaremos as diversas theorias pela sua ordem chronologica. Daremos a prioridade ao sr. Crookes: o seu titulo de inventor justifica-a sufficientemente.

**Idéas primitivas do sr. Crookes.** — O sr. Crookes, a principio surprehendido não só pela mudança

de signal que experimentava o sentido do movimento do index na sua balança de torsão, quando o gráo do vazio passava além do ponto neutro (critical point), mas tambem pelo successivo incremento na extensão d'esse movimento, á medida que o vazio (tal como elle então o podia realisar) se tornava mais perfeito, não hesitou em attribuir os effeitos observados á acção impulsiva directa da irradiação.

Veamos em resumo como explicava o mechanismo dos phenomenos.

A attracção, que se manifesta antes do ponto neutro, considerava-a como resultante da interferencia das correntes gazosas, desinvolvidas dentro do apparelho, que mascaravam e mesmo venciam o effeito real da irradiação. Com effeito, as correntes de baixo para cima, na região do apparelho mais proxima do fóco irradiante, devidas á dilatação do ar pelo calor, provocavam a concorrência, para este ponto, do ar situado na parte opposta do apparelho, dando assim origem á attracção apparente que se observa.

A diminuição d'este effeito com a rarefacção progressiva do ar, era uma consequencia natural d'este modo de ver. Além do ponto neutro, a acção repulsiva da irradiação, predominando sobre as fracas correntes de ar, que ainda por ventura se podessem desinvolver, manifestava-se livremente, e com tanta mais intensidade, quanto mais longe se levava o gráo do vazio.

A explicação dos phenomenos inversos produzidos pelo frio era ainda a mesma. De facto, a apresentação d'uma fonte frigorifera, collocando as duas faces do disco de medulla de sabugueiro em condições perfeitamente oppostas áquellas em que se achavam nas experiencias precedentes, os phenomenos, que então se observavam do lado da fonte irradiante, deviam agora manifestar-se inquestionavelmente do lado opposto.

O sr. Crookes, pretendendo corroborar as suas opiniões, apresentou varios exemplos, em que a supposta força repulsiva produzida pela irradiação, exercia no seu entender uma acção manifesta. Lembraremos apenas dois :

1.º Segundo este physico, os phenomenos do estado espheroidal que se observam, quando se lança uma gotta d'um liquido volatil sobre uma placa metallica convenientemente aquecida, eram devidos á repulsão desinvolvida entre dois corpos, dos quaes um se acha a uma alta temperatura; e não, como actualmente se suppõe, á camada de vapor, formada em volta da gotta de liquido volatil.

2.º Attribuia á mesma causa a mobilidade notavel que attingem alguns precipitados chimicos, extremamente divididos, quando se tornam incandescentes dentro d'um cadinho de platina; assim como o espaço que se distingue facilmente entre uma substancia infusivel em pó e as paredes do vaso que a contém, quando este se eleva a uma alta temperatura.

Não ficou ainda por aqui.

Remontando das pequenas cousas ás grandes, dos discos de medulla de sabugueiro do seu ingenhoso apparelho aos corpos celestes, do vazio artificial ao vacuo interplanetario, inclinava-se a que

as suas experiencias podiam fornecer a chave de muitos problemas, ainda hoje insolúveis de mecha-nica celeste.

A repulsão, produzida pela irradiação solar exercida através dos espaços interplanetarios, podia talvez, no pensar d'aquelle physico, explicar as mudanças de fórma que se observam na substancia altamente rarefeita dos cometas e nebulosas, ou mesmo exercer alguma influencia na conservação dos planetas em suas respectivas distancias.

Taes eram a principio as idéas do sr. Crookes: chegou mesmo a sustental-as durante algum tempo contra habeis contendores, que erigiam varias hypotheses para a explicação dos phenomenos, pretendendo ao mesmo tempo derribar a da acção mechanica da irradiação.

Não durou muito porém tal affinco á sua opinião. Logo que, em consequencia de experiencias mais rigorosas e observações mais completas, começou a entrar em duvida ácerca da explicação que a principio formulara, resignou promptamente as suas idéas, conservando-se na expectação, extra-

nho á contenda que já então se havia travado, e continuando diligente na accumulção do material positivo dos factos.

Já se descobre claramente esta attitude n'uma das suas primeiras memorias, lida perante a Real Sociedade de Londres, em 22 de abril de 1875, quando, depois de ter discutido o valor das differentes theorias que então se combatiam, conclue nos seguintes termos:

«... I wish to avoid giving any theory on the subject until I have accumulated a sufficient number of these facts. The facts will then tell their own tale; the conditions under which they invariable occur will give the laws: and the theory will follow without much difficulty. In the eloquent words of Sir Humphry Davy, "When I consider the variety of theories which may be formed on the slender foundation of one or two facts, I am convinced that it is the business of the true philosopher to avoid them altogether. It is more laborious to accumulate facts than to reason concerning them; but one good experiment is of

more value, than the ingenuity of a brain like Newton's".

Mais tarde, convencendo-se por algumas experiencias de que os effeitos observados no radiometro só podiam ser devidos a uma acção muito indirecta da irradiação, lembrou n'uma nota, apresentada á Academia Real das Sciencias de Paris, em 11 de setembro de 1876, que taes effeitos podiam attribuir-se a uma acção thermo-mechanica, desinvolvida entre a superficie das azas do molinete e as paredes do recipiente, por intermedio do ar rarefeito.

Finalmente em Glasgow, na reunião da Associação Britannica para o desinvolvimento das sciencias, convocada em setembro do mesmo anno, expendeu abertamente as suas idéas, mostrando adherir d'um modo definitivo á opinião de que o movimento das moleculas do gaz rarefeito dentro do radiometro se devia considerar como a causa determinante da sua rotação.

D'ahi por diante o sr. Crookes tem sido trabalhador incansavel na mesma via.

Este proceder, revelando uma inteira probidade scientifica, é o seu maior titulo de gloria. A historia aponta os graves inconvenientes que têm muitas vezes resultado da sustentação systematica de idéas, movida antes por um egoismo caprichoso, do que por uma convicção sincera; esterilizando-se por tal fórma forças, que, sendo applicadas utilmente, podiam na actualidade representar um capital scientifico importante.

Felizmente os sabios de hoje já se vão convencendo de que em sciencia não ha inimigos em lucta, mas sim obreiros que cooperam no descobrimento da verdade.

**Theoria do sr. Ledieu.**— Partindo da hypothese de que o movimento do radiometro era devido á acção mechanica directa da irradiação, o sr. Ledieu propoz se explical-o pela theoria das ondulações, actualmente em voga. Apresentemos em resumo as suas idéas.

Supponhamos, em primeiro logar, um raio luminoso incidindo sobre uma das azas do radiometro.

Os atomos de ether que lhe defrontam, e cujas vibrações se executam em planos perpendiculares á direcção da propagação, irão em geral chocar a face illuminada, ficando assim a aza debaixo da influencia quasi contínua d'uma serie de impulsões successivas, e podendo d'ahi talvez resultar o seu movimento.

Com a luz ordinaria, em que as vibrações, sujeitas simplesmente á condição de se effectuarem em planos perpendiculares á direcção dos raios, affectam fórmas variadas e se executam em diversas direcções, não se póde ter noção alguma ácerca da direcção da resultante d'essas impulsões.

Porém com a luz polarisada, em que todas as vibrações se tornam rectilneas e parallelas, a referida resultante deve ter uma direcção parallela á das vibrações. O effeito produzido será então maximo quando o plano de polarisação (\*) do

---

(\*) O sr. Leduc considera, á maneira de Cauchy, o plano de polarisação como parallelo ao plano de vibração, em quanto que Fresnel suppunha estes dois planos per-

raio incidente fôr perpendicular ao eixo do molinete, e nullo quando lhe fôr paralelo; e, além d'isso, considerando a face illuminada nas diferentes posições azimuthaes em volta do eixo vertical, a força impulsiva deve ser maxima, quando o raio incidente fôr paralelo ao plano da aza, e nulla, quando fôr perpendicular ao mesmo plano. A razão é obvia.

Posto isto, examinemos o que a theoria prevê, quando se expõe um radiometro ordinario á acção, por exemplo, da irradiação solar.

Por effeito do choque os atomos de ether em vibração devem communicar ás faces negras das azas do radiometro uma quantidade de força viva total, superior á que communicam ás faces polidas, visto que estas reflectem quasi completamente a luz. Admittindo agora, como o faz o sr. Ledieu, que a força viva total, adquirida por cada uma das faces, se reparte, na mesma proporção para todas, em

---

pendiculares entre si. No estado actual da sciencia ambas as hypotheses têm egual fundamento.

duas partes, uma que produz movimento vibratorio (calor), e outra que obra como força impulsiva, propria a determinar o movimento do molinete; e suppondo, além d'isso, que esta ultima é a predominante, attendendo ao parallelismo dos planos, em que se executam as vibrações ethereas, segue-se, que o movimento do molinete se deve effectuar como se as faces negras fossem repellidas pela irradiação.

São estas as idéas theoricadas do sr. Ledieu.

Animado pela facilidade apparente com que a sua theoria lhe parecia explicar os phenomenos, submetteu-a logo á apreciação d'um physico eminente, o sr. Fiseau, o qual, antes de emittir a sua opinião, o aconselhou a que empreendesse experiencias com um fasciculo de luz polarisada, sendo-lhe facil assim, pelo character especial d'esta fórmula do movimento vibratorio, prever theoricamente os resultados que se deviam obter.

Com effeito, sujeitando o radiometro á acção d'um fasciculo parallelo de luz polarisada, o movimento observado deve, segundo a theoria do

sr. Ledieu, ser minimo, ou mesmo nullo, quando o plano de polarisação d'esse fasciculo passar pelo eixo; e pelo contrario maximo, quando lhe fôr perpendicular.

Realizando estas condições com um excellente modelo, construido pelo sr. Alvergnyat, aquelle physico obteve apenas resultados negativos. Começavam, pois, a apparecer as discordancias entre as previsões theoricas e os factos experimentaes.

O sr. Fiseau logo em seguida a estes resultados fez a experiencia seguinte.

Illuminando exclusivamente as faces negras das azas d'um radiometro por via d'um fasciculo de luz natural, obteve um movimento no sentido normal, mais rapido do que quando se expõem á irradiação as duas especies de faces. Invertendo as condições da experiencia, isto é, illuminando simplesmente as faces polidas, observou ainda um movimento no mesmo sentido, posto que notavelmente reduzido.

Esta experiencia parecia destruir pela base a theoria que acabámos de expor, assim como qual-

quer outra explicação mechanica, fundada no systema das emissões (\*), visto que a irradiação n'um caso repellia e n'outro parecia attrahir a superficie sobre que actuava.

O sr. Ledieu, comtudo, não trepidou ainda em frente de taes resultados.

Fez notar, que nas referidas experiencias as reflexões multiplas, que inevitavelmente deviam soffrer os raios luminosos á superficie das paredes do involucro de vidro, davam logar a perturbações importantes, já alterando, nas primeiras experiencias, a direcção do plano de polarisação do fasciculo, com relação ao plano das azas, já permittindo que na experiencia do sr. Fiseau, a luz fosse incidir indirectamente sobre as faces que se pretendiam manter na obscuridade.

Levado por estas considerações concluiu, que era necessario recorrer a novas experiencias, procurando eliminar quanto possivel as causas de erro

---

(\*) Notaremos de passagem que os ultimos defensores do systema das emissões quizeram appropriar-se da questão do radiometro, como sendo um argumento a seu favor.

que coexistiam nas precedentes. Não podendo n'aquella occasião pol-as em practica, em consequencia de se achar em Brest, onde não dispunha dos elementos necessarios, pediu ao sr. Salleron que realisasse em Paris as seguintes experiencias, enviando-lhe ao mesmo tempo o programma que lhe devia servir de guia:

1.<sup>a</sup>— Illuminar na direcção do eixo do molinete um radiometro ordinario, tomando as precauções devidas contra as reflexões interiores que podessem prejudicar as observações.

Esta experiencia era emprehendida com o fim de refutar a explicação dos movimentos do radiometro na theoria das emissões.

2.<sup>a</sup>— Construido um radiometro com todas as faces das azas polidas, com o fim de reduzir ao minimo o effeito das reflexões interiores, fazer incidir um fasciculo luminoso exclusivamente sobre duas azas contiguas do molinete, deixando na obscuridade as outras duas.

O sr. Salleron só chegou a realisar a primeira experiencia, em consequencia do regresso do sr.

Ledieu, que effectuou a segunda. Vejamos os resultados obtidos:

1.<sup>a</sup> experiencia.—Pondo de parte os promenores, diremos apenas, que o sr. Salleron observou sempre um movimento bem definido no sentido normal, ainda assim menos rapido do que quando os raios solares incidiam normalmente sobre o eixo de rotação. Esta differença provinha, segundo o sr. Ledieu, de que n'este ultimo caso a reflexão dos raios luminosos das faces polidas para o vidro, e d'este para as faces negras, contribuia para accelerar o movimento.

2.<sup>a</sup> experiencia.—Submettendo o radiometro de faces polidas, e nas condições acima indicadas, á acção da irradiação, o sr. Ledieu viu desaparecer a anomalia observada pelo sr. Fiseau, obtendo constantemente um movimento no sentido normal, de 60° a 80°, isto é, como se fossem repellidas as faces sobre que incidia a irradiação.

Para o bom exito da experiencia era necessario, comtudo, ter em vista entre outras menos importantes as condições seguintes:

1.<sup>a</sup> Que o local da experiencia fosse completamente escuro, e que o radiometro estivesse ao abrigo da irradiação das superficies reflectoras.

2.<sup>a</sup> Que o fasciculo luminoso incidisse debaixo d'um angulo muito pequeno sobre a aza mais proxima.

3.<sup>a</sup> Que as duas azas situadas em opposição a esta ultima, com relação ao plano tirado pela direcção do fasciculo e pelo eixo do molinete, ficassem na sombra por meio d'um diaphragma, convenientemente collocado.

O sr. Ledieu considera esta experiencia favoravel ao seu modo de ver; porquanto, além de destruir a objecção que resultava da experiencia do sr. Fiseau, notou no seu curso uma particularidade que lhe pareceu consequencia da sua theoria. N'esta experiencia o movimento de rotação cessava exactamente na occasião em que o fasciculo incidia normalmente sobre a aza, que no principio estivera mais proxima da fonte irradiante, tendo já então entrado na sombra a aza seguinte, em consequencia de estar illuminado pouco mais d'um

quarto do involucro do radiometro. N'esse momento está só uma aza sujeita á irradiação, e, além d'isso, n'uma posição tal, que as vibrações dos atomos de ether se executam em planos que lhe são parallellos, de modo que deve cessar todo o movimento.

Apezar de tudo, o sr. Ledieu, não chegando a realisar uma serie de experiencias directas que podesse apresentar como material demonstrativo da sua theoria, e, além d'isso, vendo depois do seu regresso de Paris, que as idéas que pareciam dominar no seio da Academia Real das Sciencias lhe eram oppostas, e que durante a sua ausencia se tinham apprehendido um sem numero de experiencias com o radiometro, principalmente em Inglaterra, já pelo proprio inventor, já por muitos outros sabios, que pareciam contradizer as suas, começou a retrahir um pouco as suas opiniões, sem comtudo as abandonar completamente. Rogou mesmo á Academia, que houvesse por bem considerar os seus escriptos sobre este assumpto apenas como um ensaio de applicação da theoria vibratoria a uma questão que parecia prestar-se a isso.

Theoria da evaporação e condensação successivas. —

Esta theoria, primeiramente apresentada pelo sr. Reynolds, foi mais tarde pertinazmente defendida por um physico italiano muito distincto, o sr. Govi.

Apezar d'este ultimo se apresentar como seu iniciador, não podemos deixar de reclamar para o sr. Reynolds os direitos de prioridade, attendendo á data das suas communicações á Real Sociedade de Londres.

Pondo, porém, de parte esta questão, que apenas póde ter importancia para a historia do radiometro, entremos já na sua exposição.

Todos os corpos em geral, e muito principalmente os corpos porosos, retêm á sua superficie uma certa porção de gazes ou vapores condensados, ainda mesmo n'um vazio tão perfeito, quanto o podem realisar osapparelhos pneumaticos mais aperfeiçoados. A massa das camadas de gaz ou de vapor retidas por occlusão, nem sempre se podem desprezar relativamente á massa dos corpos absorventes, principalmente quando são muito divididos, como, por exemplo, o negro de platina, o negro de

fumo, etc., ou quando são dotados d'uma afinidade especial para certos gazes, como o palladio para o hydrogenio.

Sendo isto assim, e lembrando que no radiometro ordinario as azas, cobertas de negro de fumo por um lado e completamente polidas pelo outro, estão ligadas por braços muito leves, e delicadamente suspensas n'um meio que não póde offerecer resistencia apreciavel, vejamos como o sr. Govi explica o seu movimento pela dilatação e condensação successivas, por effeito d'uma alternativa de calor e de frio, das camadas gazosas retidas á sua superficie.

Com effeito, a irradiação luminosa, incidindo sobre a face defumada d'uma aza d'um radiometro ordinario, transforma-se em calor obscuro, e provoca a dilatação da camada de gaz condensada á sua superficie, a qual, reagindo sobre a aza no momento da sua expansão, tende a repellil-a. De acção analogá, exercida no mesmo sentido em todas as azas, deve necessariamente resultar um movimento, em que pareça que as faces negras são re-

pellidas pela irradiação, quando afinal esta não faz mais do que elevar desigualmente a temperatura das duas faces da mesma aza.

A persistencia do movimento é uma consequencia necessaria do seu começo. Effectivamente as azas, mal se afastam do fóco irradiante, tornam a condensar em virtude do seu resfriamento a camada gazosa ha pouco dilatada, de maneira que, quando cada aza tiver feito uma revolução completa, e vier de novo sujeitar-se á maxima intensidade da irradiação, acham-se restabelecidas as condições primitivas.

Esta mesma theoria permite interpretar algumas das variantes dos phenomenos geraes, de que já temos conhecimento.

A reacção que se obtem, por exemplo, quando se aproxima do radiometro um corpo frio, resulta da diminuição de pressão sobre as faces negras, diminuição que deriva do augmento de condensação, por effeito do frio, da camada gazosa, que adhere a esta especie de faces.

Quando se faz incidir a irradiação exclusiva-

mente sobre as faces polidas das azas d'um radiometro ordinario, estas aquecem por conductibilidade as faces negras mais ricas de gaz, de maneira que se devem observar os mesmos phenomenos, que quando a irradiação incide directamente sobre ellas. E de facto sabemos, que n'estas condições parece que as faces polidas são attrahidas pela irradiação.

Nos radiometros em que todas as faces das azas são da mesma natureza vê-se ainda, como se deva produzir o movimento, posto que muito mais fraco, quando se faz incidir a irradiação sobre as faces d'um mesmo lado. Com effeito, apesar de n'este caso as duas faces de cada aza terem adherente a mesma quantidade de gaz, ainda assim a face directamente illuminada aquecendo-se primeiro, faria dilatar uma parte da camada gazosa, antes que a outra face tivesse tempo de se elevar por conductibilidade á mesma temperatura.

Finalmente, comprehende-se n'esta theoria, como n'um vazio imperfeito a resistencia e as correntes de ar, provocadas pelo calor ou pelo frio

dentro do apparelho, paralysem ou mesmo vençam a força sempre relativamente fraca, desinvoldida pela reacção dos gazes dilatados á superficie das azas.

O sr. Govi, convencido da verdade da theoria que deixamos referida, e que parece amoldar-se perfeitamente á explicação das diversas ordens de phenomenos estudados pelo sr. Crookes no seu radiometro, affirmou a possibilidade de construir *radiometros insensiveis*, tornando as azas immoveis, e conservando-as n'estas circumstancias a uma alta temperatura durante o exercicio da machina pneumatica. Acrescenta que só deporia as suas idéas, se em taes condições observasse ainda movimentos bem definidos do molinete.

Não obstante reconhecermos o modo ingenhoso por que esta theoria se acha urdida, parece-nos, comtudo, que não poderá resistir á força das objecções seguintes :

1.<sup>a</sup> — Rodeando um radiometro ordinario por um circulo de velas equidistantes e muito proximas umas das outras, de maneira que fique sujeito a

uma illuminação uniforme, nota-se que, depois do movimento attingir o seu maximo, a velocidade se conserva constante durante todo o tempo da experiencia, ainda mesmo que esta se prolongue por espaço d'uma hora.

Este resultado está em manifesta opposição com a theoria do sr. Govi, pois que, sendo a illuminação uniforme em volta do apparelho, não podem ter logar as alternativas de dilatação e condensação necessarias para a conservação do movimento, devendo por isso afrouxar-se e extinguir-se pouco tempo depois de attingir o seu maximo de velocidade. Esta experiencia, que se póde repetir facilmente, é devida ao sr. Fiseau.

2.<sup>a</sup> — Est'outra experiencia não é menos concludente.

O sr. Salet fixou uma agulha magnetica perpendicularmente ao eixo do molinete d'um radiometro, cujas azas se compunham de duas laminas de mica calcinada, uma d'ellas coberta de negro de fumo. N'estas condições, aproximando uma luz do apparelho, a agulha magnetica desviava-se,

formando um angulo com a sua posição natural de equilibrio, cuja grandeza dependia da intensidade da irradiação e da distancia do fóco irradiante. Sujeitando este ingenhoso radiometro durante quatro dias á acção constante d'uma mesma fonte luminosa, observou, que a posição da agulha se tinha conservado invariavel durante todo este tempo; o que prova a persistencia da força que a desviava do plano do meridiano magnetico.

Aqui não se póde evidentemente invocar a reacção dos gazes dilatados, visto que a continuidade da influencia da irradiação durante quatro dias seria mais que sufficiente para fazer desinvolver e disseminar no recipiente a camada gazosa retida pelas faces defumadas.

3.<sup>a</sup> — O sr. Crookes realisou ainda uma experiencia que nos parece decisiva.

Na parte interna do recipiente d'um radiometro, cujas azas eram pequenas laminas de mica transparente, fixou verticalmente uma placa de mica defumada, e n'uma posição tal, que cada uma das azas do molinete distava d'ella apenas  $0^m,001$ ,

quando lhe passava defronte. Em presença d'uma luz este apparelho não se movia quando se obstava a que a irradiação incidisse sobre a placa defumada; logo porém que esta era illuminada, manifestava-se o movimento, mantendo-se em quanto o apparelho estava sujeito á sua influencia.

Este effeito é incompativel com a theoria da dilatação e condensação successivas, em consequencia da persistencia das relações de posição entre a placa vertical e a fonte irradiante durante todo o curso da experiencia, a não ser que se experimentasse com uma fonte luminosa intermitente.

4.<sup>a</sup>—Finalmente, têm-se construido radiometros muito sensiveis, conservando-os a altas temperaturas durante a extracção do ar, e banindo da constituição das azas o negro de fumo ou qualquer outra substancia porosa.

Apparecem mesmo alguns radiometros de azas perfeitamente polidas por ambas as faces, funcionando melhor do que aquelles em que entra o negro de fumo; como, por exemplo, os de azas de

mica não calcinada e ouropel, construídos pelo sr. Geissler.

Ignoramos a impressão que produziram no animo do sr. Govi os factos supra-mencionados, pela carencia de escriptos posteriores d'este physico.

*Theoria pyro-electrica.*—A questão do radiometro nem mesmo escapou ás investidas da electricidade. A idéa de explicar os movimentos radiometricos por uma acção pyro-electrica, nasceu, ao que parece, na Allemanha, aonde ainda chegou a grangear alguns adeptos: logrou porém existencia ephemera. Para não omittirmos nenhuma das peripecias por que passou a theoria do radiometro, diremos alguma cousa das idéas apresentadas pelo sr. W. de Fonvielle á Academia Real das Sciencias de Paris.

Generalizando os phenomenos pyro-electricos, que manifestamente se observam á superficie de certos crystaes, quando sujeitos a variações de temperatura, admitte, que debaixo da influencia da irradiação todos os corpos máos conductores

se electrizam mais ou menos conforme a sua natureza e a intensidade do fóco irradiante.

Com estas considerações o sr. Fonvielle tenta explicar os principaes phenomenos observados pelas acções electricas reciprocas entre o involucro e as azas do radiometro, desinvolvidas pela irradiação.

Suppõe que a electricidade, produzida no involucro pela passagem dos raios luminosos ou calóricos, se manifesta simplesmente no interior, em que a rarefacção extrema do ar se oppõe ao seu escoamento, repellindo energicamente as faces negras das azas do molinete, que se acham mais electrizadas do que as polidas em consequencia do seu maior poder absorvente. Por esta fórmula estava explicado o movimento normal, que se observa nos radiometros ordinarios.

Quando o ar dentro do radiometro não estivesse rarefeito, a pyro-electricidade não poderia manifestar-se, como ha pouco, na superficie interna do involucro, e o movimento do radiometro resultaria das correntes de ar, que o calor provoca dentro

do recipiente, pela fôrma que atraz deixámos consignada.

A experiencia parece ter mostrado, que em egualdade de circumstancias a velocidade do movimento do molinete é tanto maior, quanto mais pequeno é o diametro do recipiente. A theoria pyro-electrica ainda dava conta d'este phenomeno, attendendo a que, quanto mais pequeno é esse diametro, mais proximo do involucro estão as azas, e portanto mais energica é a repulsão.

Não prosigamos mais. O sr. Fonvielle mesmo decerto não persistiria por tanto tempo nas suas idéas, se conhecesse as experiencias directas, por meio das quaes o sr. Crookes demonstrou á sociedade, que a electricidade não podia ser o principal agente em acção n'esta ordem de phenomenos. Estas experiencias datam de uma epocha anterior mesmo á invenção do radiometro, e foram portanto realisadas com os seus primitivos apparelhos.

Pondo de parte os promenores, consignemos apenas os resultados.

O sr. Crookes, fazendo communicar com a terra,

por disposições engenhosas, já a superfície interna do involucro de vidro, já a parte que n'essesapparelhos correspondia ao molinete do radiometro actual, já simultaneamente uma e outra cousa, obteve sempre em taes condições os mesmos phenomenos, e manifestando-se proximamente com a mesma intensidade que quando mantinha os aparelhos completamente isolados.

D'aqui concluiu, e com razão segundo nos parece, que a causa principal do movimento observado não podia ser a pyro-electricidade, e que, se por ventura interferia, era por fórma que não manifestava a sua acção de modo apreciavel.

**Theoria dos srs. Tait e Dewar.** — De todas as theorias apresentadas até hoje esta é sem duvida a que melhor se presta á interpretação da generalidade dos phenomenos, e que se acha menos sujeita a objecções importantes. Tambem goza actualmente, póde dizer-se, da adhesão geral, com especialidade depois que se conseguiu demonstrar por experiencias rigorosas, que a verdadeira causa dos movi-

mentos radiometricos estava nos vestigios de gaz, que existem sempre, mesmo no vazio mais perfeito. Adiante daremos conta de taes experiencias.

Esta theoria, primeiramente esboçada pelo sr. Reynolds, pouco depois de ter apresentado a da dilatação e condensação successivas, foi mais tarde amplamente desinvolvida pelos srs. Tait, Dewar, Stoney e Finkener.

Na impossibilidade de consultar os *Annaes de Poggendorf* e o *Philosophical Magazine*, onde se acham as memorias originaes d'estes sabios, faremos apenas um resumo, com a clareza que nos fôr possivel, do que podémos colher dos escassos elementos que tivemos á mão n'esta parte. Relevem-se-nos portanto as lacunas.

N'esta theoria, attribuindo-se o papel principal ao gaz contido no recipiente do molinete, era de primeira necessidade verificar, se uma tão pequena porção, como a que resta depois de levar o vazio ao mais alto gráo de perfeição, seria susceptivel de imprimir um movimento sensivel a um systema metallico de peso e massa relativamente conside-

raveis. Era, com effeito, esta a principal duvida que no principio o sr. Crookes apresentava a respeito da theoria em questão, tanto mais que elle via a sensibilidade dos radiometros augmentar com o gráo de vazio.

Os srs. Reynolds e Kundt resolveram o problema: o primeiro pelo raciocinio, o segundo pela experiencia.

O sr. Reynolds raciocinava pela seguinte fórma: Achou-se que o residuo gazoso, existente no recipiente do radiometro, é (com excepção do attrito do eixo que póde considerar-se como inapreciavel) a unica causa de resistencia que o molinete experimenta, e que o faz volver ao repouso quando se afasta a fonte irradiante. A lei da resistencia, determinada por medidas rigorosas, concordava com a resistencia que o ar muito rarefeito devia offerer ao seu movimento, sendo proporcional á velocidade em quanto o movimento era lento, e tendendo gradualmente para o quadrado da velocidade á maneira que se tornava mais rapido.

Estabelecida por este modo a sufficiencia do gaz

interior para provocar a extincção do movimento, estava resolvido o problema: o que elle podia destruir, devia poder causar.

A resolução experimental completou a demonstração. O sr. Kundt, fixando sobre as quatro azas d'um radiometro um disco de mica natural de maneira a mover-se conjunctamente com o molinete, e collocando pelo lado de cima um outro semelhante e paralelo, com movimento independente do primeiro, observou que, quando o disco inferior girava, arrastado pelo molinete, bem depressa o movimento se communicava ao disco superior por via do gaz intermedio, começando este ultimo a girar no mesmo sentido. Esta experiencia demonstrava, que o residuo gazoso era susceptivel de communicar o movimento mesmo por simples attrito, e em condições ainda menos vantajosas do que aquellas em que se acha o molinete d'um radiometro.

Além de que a incandescencia dos meteorolithes que atravessam as altas regiões da atmosphaera, em que a rarefacção do ar excede provavelmente a

que existe nos nossosapparelhos, é uma prova da sua consideravel potencia mechanica.

Isto posto, as experiencias de muitos physicos e em especial dos srs. Tait e Dewar demonstraram d'um modo categorico, que a condição essencial para o exercicio do radiometro consiste n'uma differença de temperatura, ainda que fraca, entre as duas faces da mesma aza, parecendo sempre que a face mais aquecida experimenta um impulso da parte do meio adjacente, qualquer que seja o lado d'onde proceda a irradiação.

D'entre o grande numero de experiencias, feitas com este fim, citemos apenas as seguintes, que são frisantes:

Uma lamina de sal gemma, exposta á irradiação, e nas condições em que se acham as azas d'um radiometro ordinario, não experimenta movimento algum, em consequencia da transparencia e diathermanidade do sal gemma. Cobrindo uma das faces d'esta lamina com uma camada de negro de fumo (que, como sabemos, tem um grande poder absorvente, mas muito fraco poder conductor), e

fazendo incidir uma luz sobre a face opposta, manifesta-se immediatamente uma repulsão apparente da parte da irradiação, porque a face voltada para a luz aquece-se por conductibilidade mais rapidamente do que a face opposta, attenta a difficuldade com que o calor se propaga através da camada de negro de fumo. Substituindo esta por uma de phosphoro transparente, obtem-se o resultado inverso: n'este caso parece que a lamina experimenta uma attracção da parte da irradiação. O phosphoro transparente, absorvendo os raios ultra-violetas, transforma-se n'uma variedade opaca com desenvolvimento de calor, e portanto n'este caso é a face opposta á irradiação que apresenta uma temperatura mais elevada. Estas experiencias são dos srs. Tait e Dewar.

A seguinte, não menos convincente, deve-se ao ingenho do sr. Salet.

Construiu um radiometro só de dois braços, em que podia á vontade substituir varias azas, formadas de duas laminas juxtapostas de differente natureza. A irradiação não incidia directamente

sobre as azas, mas estas eram aquecidas por conductibilidade, concentrando a luz sobre uns appendices metallicos que lhes estavam ligados. O sentido do movimento era sempre determinado de modo que a face, que tinha mais forte poder conductor, parecesse soffrer uma impulsão. Chegou a obter effeitos contrarios com as mesmas azas, invertendo no radiometro a posição das duas faces.

Estabelecida a sufficiencia do residuo gazoso, contido no radiometro, para provocar o seu movimento, e determinada experimentalmente a relação constante que existe entre o sentido d'esse movimento e a differença de temperatura das duas faces da mesma aza, tornava-se necessario ligar estes dois factos por uma explicação racional.

É o que conseguiram os distinctos physicos de que já fallámos, desinvolvendo uma theoria, que se baseia sobre a hypothese da constituição mecnica dos gazes, hoje admittida na sciencia; hypothese que, primitivamente imaginada por Herapath e Bernouilli, foi mais tarde renovada e ampliada por Joule, Krœnig, Clausius, Maxwell e outros.



Esta hypothese consiste, como sabemos, em considerar os gazes compostos de moleculas, muito pequenas relativamente aos espaços que as separam, perfeitamente elasticas, movendo-se em linha recta em todos os sentidos e com uma velocidade variavel com a temperatura. O choque das moleculas contra as paredes dos vasos que as contém constitue a sua força elástica; e a transmissão de pressão n'um gaz explica-se, n'esta hypothese, por uma comunicação de movimento entre as moleculas que se chocam.

Sigamos agora as idéas dos srs. Tait e Dewar na explicação dos phenomenos.

As moleculas gazosas, que no seu movimento contínuo de projecção encontram a face mais aquecida d'uma aza do radiometro, adquirem por esse facto um excesso de velocidade de que é necessariamente concomitante um excesso de tensão.

Se o gaz dentro do apparelho estivesse á pressão ordinaria, em que as moleculas gazosas se acham tão proximas umas das outras, que a distancia media que, segundo os calculos de Clausius, podem per-

correr em linha recta sem se chocarem, não excede  $\frac{1}{10000}$  de millimetro, o excesso de tensão, proveniente do augmento de velocidade, adquirido pelas moleculas que chocam a face mais quente da aza, transmittir-se-ia integralmente e quasi d'uma maneira instantanea a todos os pontos do apparatus, e não se manifestaria movimento algum, determinado por esta causa. De facto, a tensão total do gaz dentro do apparatus augmentaria; mas, conservando-se eguaes as pressões sobre as duas faces d'uma mesma aza, esta permaneceria em equilibrio.

Como porém no interior do radiometro o gaz se acha extremamente rarefeito, é possivel que se dê alguma cousa de novo. Com effeito, os srs. Tait e Dewar, repetindo os calculos de Clausius para pressões comparaveis ás que existem no interior do radiometro, acharam, que a extensão media do trajecto rectilineo, que em taes condições uma molecula podia percorrer sem ser influenciada pelas vizinhas, excedia muito o diametro ordinario dos recipientes. Sendo assim, um grande numero de moleculas, depois de se reflectirem nas

faces negras das azas do radiometro, encontrarão directamente o involucro de vidro, antes de terem communicado o seu excesso de velocidade a parte alguma do apparelho, perdendo por esse facto uma porção da força viva de que iam animadas; de maneira que os choques ulteriores d'estas moleculas contra as faces polidas das azas, quer directamente, quer por intermedio das moleculas que por ventura encontrem no seu curso, hão de ser notavelmente enfraquecidos. D'aqui resulta, que, não sendo transmittido integralmente ás faces polidas o excesso de pressão, a que se acham sujeitas as faces negras das azas no momento da reflexão das moleculas que as chocam, deve produzir-se o movimento do molinete no sentido normalmente observado, isto é, como se as faces negras soffressem uma repulsão. Eis como n'esta theoria se explica a rotação normal do radiometro.

O movimento inverso que se observa, quando o gaz que existe dentro do radiometro attinge uma certa pressão, é attribuido pelos srs. Tait e Dewar ás correntes gazosas que se estabelecem dentro do

apparelho por effeito do aquecimento do ar que defronta com as faces negras das azas. Já mais atraz explicámos o modo como estas correntes podem determinar o movimento do molinete em sentido contrario ao movimento normal. Não insistiremos portanto sobre este ponto.

Vejamus por fim de uma maneira geral como esta theoria dá conta das diversas modalidades a que estão sujeitos os phenomenos radiometricos.

As principaes podem agrupar-se em duas categorias:

Na primeira, as que são provocadas pela variação da composição da irradiação incidente, quer alterando a fonte d'onde dimana, quer os meios que atravessa. Estas são uma consequencia necessaria das variações que experimentam com as mesmas causas os poderes absorventes das faces das azas, que, como sabemos, têm n'esta theoria uma influencia capital nos phenomenos.

Na segunda, as que são determinadas pela acção sobre o radiometro de uma fonte de frio. As reacções do molinete que se observam n'esta ordem

de experiencias, ainda se explicam facilmente na theoria presente. Com effeito, as faces de maior poder absorvente são precisamente as que arrefecem mais depressa debaixo da acção d'uma fonte frigorifera, de maneira que se invertem por este meio as condições thermicas das duas faces, e por conseguinte o sentido do movimento resultante.

Empreenderam-se muitas experiencias com o fim de verificar esta theoria: apresentaremos apenas duas.

Do que acima dissemos infere-se evidentemente que as dimensões do recipiente do radiometro influem na sua sensibilidade; assim quanto maior fôr o seu diametro, tanto menor será a velocidade do molinete.

O sr. Crookes verificou esta consequencia da theoria por meio d'um apparelho muito ingenhoso.

Construiu um radiometro com dois recipientes juxtapostos de differente diametro, e communicando por uma larga abertura. O mesmo molinete podia adaptar-se aos dois recipientes; e a distancia das azas á superficie interna era n'um caso

de  $\frac{1}{4}$  de pollegada e n'outro de  $\frac{1}{2}$  pollegada. As experiencias mostraram-lhe, que a velocidade do molinete no primeiro recipiente era 50 % maior do que no segundo debaixo da mesma intensidade de irradiação.

Os srs. Krüss e Finkener fizeram experiencias com o mesmo fim, e os resultados concordaram com os do sr. Crookes.

Finalmente n'uma experiencia não menos interessante, o sr. Salet tornou sensiveis á vista os effeitos da projecção das moleculas gazosas que se reflectem á superficie das faces negras com um excesso de força viva.

Soldou ao recipiente as azas d'um radiometro ordinario, immobilizando por esta fórma o molinete; e suspendeu pelo centro, proximo das azas, um disco de mica muito leve. Expondo o instrumento á irradiação, o disco começava a girar rapidamente, e tomava o movimento das moleculas gazosas projectadas pelas faces negras. Para evitar que este movimento se attribuisse ás fracas correntes ascensionaes, que por ventura podessem ter lugar,

apezar da grande rarefacção do ar interior, variou a experiencia, collocando o disco ora por cima ora por baixo das azas, e obteve sempre o mesmo resultado.



## CAPITULO IV

Esboçámos no capitulo precedente as diversas theorias propostas para a explicação dos phenomenos radiometricos, procurando ao mesmo tempo fazer sobresahir a superioridade da dos srs. Tait e Dewar; e apezar de termos demonstrado que a acção da massa gazosa, contida no involucro, era sufficiente para vencer a inercia do molinete, contudo não estabelecemos d'um modo peremptorio e irrefutavel que tal era a causa determinante e immediata dos phenomenos.

No presente capitulo pretendemos entrar n'um campo mais positivo.

Resumiremos em primeiro logar os trabalhos d'alguns physicos, que demonstram experimental-

mente, que os movimentos do radiometro são devidos á presença dos gazes que existem mesmo nos apparatus exhaustos com a maxima perfeição; em seguida exporemos um methodo indirecto, mas rigoroso, por via do qual se estabelece definitivamente, que as forças que determinam aquelles movimentos são puramente interiores.

Assim, firmando d'um modo incontestavel os principios sobre que deve assentar a evolução de qualquer theoria, vibramos ao mesmo tempo o golpe de misericordia sobre a da acção mechanica da irradiação; ficando ainda mais uma vez inutilizados os esforços que desde Hartsoeker, em 1696, até hoje têm sido empregados por tantos physicos, para demonstrarem experimentalmente a pretendida impulsão da luz. Esta impulsão embora exista, ainda não é com o radiometro que se torna sensivel.

O methodo directo e que naturalmente primeiro se depara ao espirito, quando se tracta de investigar, se o gaz contido no interior do radiometro

é ou não a causa determinante do seu movimento, consiste, sem duvida, em eliminá-lo, e observar, se ainda então o movimento se produz debaixo da influencia da irradiação, ou se pelo contrario o molinete permanece immovel por falta de impulsor mechanico que lhe communique e entretenha o movimento.

Na impossibilidade, porém, de se obter o vazio absoluto, os physicos tiveram de limitar-se a observar a lei de variação da velocidade do molinete com a diminuição progressiva da tensão gazosa dentro do aparelho, e de induzir d'ahi o valor d'essa velocidade no limite. Tal observação, desde que os meios empregados em produzir o vazio se aperfeiçoaram, levou constantemente á conclusão de que: passado um certo maximo variavel com o radiometro, natureza do gaz interior, intensidade da irradiação, etc., a velocidade do molinete decrescia simultaneamente com a tensão gazosa dentro do aparelho, sendo licito por conseguinte admittir que se annullaria completamente, quando fossem eliminados os ultimos vestigios de gaz.

Façamos uma descripção resumida das observações e experiencias que estabeleceram definitivamente este facto importante, e dêmos ainda d'esta vez o logar de honra ás do sr. Crookes, que, como já tivemos occasião de dizer, abandonou as idéas que a principio defendera com tanto ardor, para mais tarde trabalhar em prol dos seus antigos adversarios.

O sr. Crookes, servindo-se d'uma machina pneumática, que na essencia consistia em uma bomba de ar de Sprengel, com algumas modificações, imaginadas *ad hoc* pelo seu amigo e companheiro, o sr. Ginningham, munida d'um manometro muito sensível, e conservando durante o curso das experiencias o recipiente do radiometro, mergulhado n'um banho de ar a 300°C, obteve constantemente os seguintes resultados: passado o ponto neutro, a velocidade do molinete augmentava progressivamente até um maximo, variavel com a natureza do gaz contido no recipiente, diminuindo em seguida rapidamente com o progresso ulterior do vazio.

A seguinte tabella mostra os resultados de algumas das experiencias comprehendidas por este physico:

Natureza do gaz contido no recipiente	Pressões correspondentes ao maximo de velocidade
Ar atmosferico . .	0,00004 da atmosphaera
Oxigenio . . . . .	0,00003 » »
Hydrogenio . . . . .	0,00007 » »
Acido carbonico . .	um pouco menor que para o ar.

O sr. Crookes, partindo d'estes resultados, pôde construir radiometros d'uma sensibilidade extrema. Começava por levar o vazio até uma ou duas millionesimas da atmosphaera, tendo o cuidado de manter o apparelho a 300°C., durante o exercicio da machina pneumatica, e mesmo algumas horas depois. Deixando em seguida arrefecer o radiometro, introduzia gradualmente dentro do recipiente, por via de uma torneira particular, uma pequena quantidade de gaz até que o mano-

metro indicasse a pressão correspondente ao máximo de velocidade.

Por este processo, e operando com hydrogenio em radiometros de azas de mica calcinada, e dispostas sob um angulo conveniente, obteve instrumentos de tal sensibilidade, que se punham em movimento até sob a influencia da luz da lua. Este physico nega ainda assim a possibilidade de se obter por este processo um movimento de rotação muito rapido: o que tem sido affirmado por alguns observadores.

As experiencias, comprehendidas pelo sr. Finckner no mesmo sentido, confirmam os resultados obtidos pelo sr. Crookes.

Entre todas merecem especialisar-se as que realisou com uma disposição, que lhe permittia afastar extraordinariamente os limites da rarefacção dentro do radiometro. Recorreu ao vazio chimico.

Em resumo, o apparelho consistia n'um radiometro a que se achavam ligados dois tubos: o primeiro communicava com a machina pneumática, e tinha no seu curso uma pequena esfera

de vidro com cal viva para absorver o vapor d'agua; o segundo recurvava-se em U, contendo n'essa curvatura limalha de cobre, destinada a eliminar o oxigenio, desinvolvido debaixo da influencia do calor n'um balão de vidro, cheio de permanganato de potassio, por onde terminava este tubo.

Depois de obter o vazio ordinario dentro do apparelho, aquecia o balão de vidro n'um banho a 200°C. O oxigenio desinvolvido era successivamente eliminado pela machina pneumatica, até que por esta corrente de oxigenio o interior do radio-metro ficasse completamente limpo de ar. Por um excesso de escrupulo prolongava a operação por muitos dias, apenas com algumas horas de intervallo cada dia. Em seguida fechava á lampada o tubo capillar, por onde o apparelho communicava com a machina pneumatica, e aquecia o cobre a 220°C., mantendo esta temperatura constante durante o curso da experiencia. Por esta fórma o cobre debaixo da influencia do calor ia absorvendo lenta e progressivamente os vestigios do oxigenio que tinham ficado dentro do apparelho,

O sr. Finkener, experimentando n'estas condições perfeitamente ingenhosas, obteve os seguintes resultados :

Tempo decorrido a partir do aqueci- mento do cobre	Numero de voltas do molinete por minuto	Distancia da fonte irradiante
0 <sup>min.</sup>	3	0 <sup>m</sup> ,4
10	9	»
15	25	»
17	25	»
20	22	»
30	15	»
50	8	»
55	8	»
65	0	»
70	11	0 <sup>m</sup> ,3
80	0	»
90	0	0 <sup>m</sup> ,25
90	25	0 <sup>m</sup> ,2
100	25	»

A inspecção d'esta tabella mostra, que estas

experiencias levam ás mesmas conclusões que as do sr. Crookes.

O sr. Finkener não obteve radiometro absolutamente insensivel, visto que o movimento recommençava sempre que se aproximava a fonte irradiante.

Finalmente as experiencias do sr. Alvergnyat vêm ainda corroborar os resultados dos trabalhos dos srs. Crookes e Finkener.

Aquelle physico affirma ter conseguido insensibilidade absoluta n'um radiometro de azas de prata e de aluminio, conservando o recipiente durante a extracção do ar a uma temperatura superior a 400° no vapor de enxofre. Este radiometro, além de pertencer á classe dos menos sensiveis, não pôde sujeitar-se a observações convenientes, em consequencia de se ter quebrado pouco depois de se acabar de construir.

Depois d'este o sr. Alvergnyat construiu pelo mesmo processo radiometros de azas de aluminio e mica natural, que eram completamente insensiveis á luz de vinte velas, collocadas a 0<sup>m</sup>,1 de distancia,

Para os fazer mover era necessario sujeital-os a uma intensa irradiação solar.

Completoou as suas experiencias por uma contra-prova.

Practicando um orificio no involucro d'um d'estes radiometros por meio d'uma descarga electrica, para deixar entrar o ar lentamente, pôde presenciar em ordem inversa o curso de todas as phases das experiencias dos srs. Crookes e Finkener.

O radiometro começava por perder a insensibilidade, movendo-se a principio muito de vagar. Pouco depois a velocidade augmentava até um maximo, para em seguida diminuir progressivamente até se annullar (ponto neutro). Além d'este ponto o movimento manifestava-se de novo com mudança de signal, augmentando successivamente até que o gaz interior estivesse á pressão ordinaria. O orificio determinado pela faisca electrica era tão pequeno, que foi necessario um microscopio de grande amplificação, para se lhe poder medir aproximadamente o diametro. N'estas condições o

ar levava perto de duas horas para poder attingir a pressão atmospherica dentro do radiometro.

Passemos agora á exposição do methodo indirecto, que annunciámos no principio d'este capitulo, e pelo qual se demonstra d'um modo inconcusso, que as forças que produzem o movimento do radiometro são exclusivamente interiores, e de modo algum emanantes directamente da irradiação.

Este methodo basea-se n'um principio de mecnica muito conhecido — o *principio da conservação dos momentos*:

Designando por  $m, m', m'' \dots, v, v', v'' \dots, r, r', r'' \dots$ , as massas, as velocidades e as distancias a um eixo d'um systema de pontos materiaes, sujeitos sómente a forças interiores ao systema, é

$$m v r + m' v' r' + m'' v'' r'' + \dots = k \dots (1)$$

sendo  $k$  uma constante.

Appliquemos este principio ao radiometro. Suppondo-o suspenso por um fio que passe pelo eixo

de rotação, tomando este para eixo dos momentos, e designando por  $\omega$  e  $\omega'$  as velocidades angulares simultaneas do recipiente e do molinete n'um instante qualquer, a fórmula (1) reduz-se evidentemente a

$$\omega \Sigma m r^2 + \omega' \Sigma m' r'^2 = k$$

ou a

$$\omega \Omega + \omega' \Omega' = k \dots \dots \dots (2)$$

sendo  $\Omega$  e  $\Omega'$  os momentos de inercia do recipiente e do molinete.

Para um outro conjugado de valores  $\begin{matrix} \omega_1 \\ \omega'_1 \end{matrix}$ , correspondentes ao estado inicial, temos ainda

$$\omega_1 \Omega + \omega'_1 \Omega' = k \dots \dots \dots (3).$$

Finalmente, subtrahindo (2) e (3), chegamos a

$$\Omega(\omega - \omega_1) + \Omega'(\omega' - \omega'_1) = 0 \dots \dots (4).$$

Discutamos esta equação:

— Se o movimento do recipiente e do molinete começar simultaneamente, será

$$\omega_1 = \omega'_1 = 0;$$

e portanto

$$\Omega \omega + \Omega' \omega' = 0$$

ou

$$\frac{\Omega}{\Omega'} = - \frac{\omega'}{\omega}.$$

Logo: n'este caso o recipiente e o molinete devem girar em sentido contrario; e as velocidades angulares devem ser inversamente proporcionaes aos momentos de inercia.

— Se só se permittir o movimento do recipiente depois do molinete ter adquirido uma certa velocidade  $\alpha$ , então as condições iniciaes serão

$$\omega_1 = 0, \quad \omega'_1 = \alpha;$$

e a equação (4) reduzir-se-ha a

$$\Omega \omega + \Omega' (\omega' - \alpha) = 0.$$

Aqui temos a distinguir tres casos:

1.º — Suppondo que a velocidade  $\omega'$  do molinete augmenta a partir de  $\alpha$ , é necessario que  $\omega$  seja negativo para que a egualdade possa subsistir; portanto o recipiente deverá girar em sentido contrario do molinete.

2.º — Suppondo que a velocidade  $\omega'$  do molinete se conserva egual a  $\alpha$ , é necessario que  $\omega$  seja nullo para que a egualdade possa subsistir; portanto o recipiente não manifestará movimento algum.

3.º — Suppondo finalmente que a velocidade  $\omega'$  do molinete diminue a partir de  $\alpha$ , é necessario que  $\omega$  seja positivo para que a egualdade possa subsistir; portanto n'este caso o recipiente deverá girar no mesmo sentido que o molinete.

— Se, quando o radiometro se sujeitar á irradiação, já o recipiente estiver animado da veloci-

dade angular  $\beta$ , de que participará também o molinete, as condições iniciais serão

$$\omega_1 = \omega'_1 = \beta;$$

e a equação (4) reduzir-se-ha a

$$\Omega(\omega - \beta) + \Omega'(\omega' - \beta) = 0.$$

Distingamos dois casos:

1.º — Se o movimento primitivo do recipiente fôr positivo, isto é, se se effectuar no sentido normal, depois da incidencia da irradiação esse movimento irá progressivamente enfraquecendo, até que, quando a velocidade do molinete attingir o valor  $\frac{\Omega + \Omega'}{\Omega'}\beta$ , o movimento do recipiente se extinguirá, mudando em seguida de signal, para valores successivamente crescentes de  $\omega'$ . Isto deduz-se muito simplesmente da equação precedente.

2.º — Se, ao contrario, o movimento primitivo do recipiente fôr negativo, este movimento persistirá indefinidamente no mesmo sentido depois

da incidencia da irradiação, acelerando-se até que o molinete tome definitivamente o movimento uniforme.

— Supponhamos, por ultimo, que tornavamos solidarios o molinete e o recipiente, invertendo, por exemplo, um radiometro, munido de freio.

A equação (4) reduzir-se-ha n'esse caso evidentemente a

$$(\Omega + \Omega') W = 0,$$

designando por  $W$  a velocidade commum ao molinete e ao recipiente.

D'aqui deduz-se necessariamente

$$W = 0.$$

Logo: n'este caso não se deve manifestar movimento algum debaixo da acção da irradiação.

Taes são as principaes consequencias previstas pela theoria, partindo da hypothese de serem puramente interiores as forças que produzem os movimentos radiometricos.

Vejam os agora até que ponto os trabalhos dos srs. Bertin e Garbe provam a realidade de tal hypothese. Antes, porém, é conveniente uma regressão rápida, lembrando experiencias anteriores que se emprehenderam no mesmo sentido, e que podem até certo ponto considerar-se como causa determinante dos trabalhos d'aquelles physicos.

O sr. Arthur Schuster foi o primeiro que propoz a seguinte alternativa: se as forças que fazem mover o molinete derivam directamente do choque do ether, é na massa do ether que essas forças encontram o seu ponto de apoio; se porém forem puramente interiores, então hão de reagir sobre as paredes do recipiente, devendo este mover-se em sentido contrario, quando suspenso por um fio ou movel em volta d'um eixo.

Posta a questão, resolveu-a experimentalmente pela fórma seguinte:

Dentro d'um vaso, onde podia fazer o vazio, suspendeu um radiometro por dois fios de côco, e concentrou em seguida sobre elle a luz d'uma lampada de gaz oxhydrico. Um espelho ligado ao

radiometro, reflectindo um ponto luminoso sobre uma escala situada a uma distancia consideravel, tornava sensivel o mais insignificante movimento do recipiente.

N'estas condições o sr. Schuster observou que, em quanto o movimento do molinete era accelerado, o recipiente se movia lentamente em sentido contrario; que apenas a velocidade do molinete se tornava constante, a força de torsão obrigava o recipiente a voltar á posição primitiva; e que, finalmente, quando se supprimia a luz, o recipiente recommçava a girar, mas d'esta vez no mesmo sentido que o molinete.

É facil de ver até que ponto estes resultados estão de accordo com as consequencias que deduzimos da theoria.

Pouco depois o sr. Crookes, que, apesar de já então ter abandonado as suas primitivas idéas, ainda se conservava no campo neutral e adverso a todas as theorias então em combate, apresentou á Sociedade Real de Londres algumas experiencias que pareciam contradizer as do sr. Schuster.

N'essas experiencias aquelle physico servia-se d'um radiometro, cujo molinete se compunha de dez braços, terminados por azas de medulla de sabugueiro, defumadas d'um lado, sendo oito dos braços de latão e os dois restantes de aço magnetizado. Em vez de suspenso, o radiometro fluctuava em agua.

O sr. Crookes affirma ter obtido n'estas condições os resultados seguintes:

Cercando o radiometro por quatro velas, o recipiente principiava a girar muito lentamente no mesmo sentido que o molinete, depois em sentido contrario, e por fim definitivamente no mesmo sentido, porém com tal morosidade que gastava mais d'uma hora em fazer uma revolução completa.

Obrigando em seguida o molinete a parar repentinamente pela aproximação d'um magnete, o recipiente principiava a girar em sentido contrario ao movimento anterior do molinete com a velocidade d'uma volta em dois minutos. Permittindo de novo o movimento pelo desvio da barra magnetizada, o recipiente parava quasi logo e recommçava

a mover-se muito de vagar no mesmo sentido que o molinete.

Apagando por fim as luzes, e aproximando o magnete alternadamente dos dois lados do radiometro, produzia-se sempre o movimento do recipiente no mesmo sentido que o do molinete.

O sr. Crookes via apenas n'estas experiencias uma prova de que os attritos no interior do radiometro eram consideraveis, a ponto do recipiente chegar a vencer a resistencia da agua em que fluctuava.

O antagonismo entre os resultados apresentados por este physico e pelo sr. Schuster, provocou novas experiencias, entre as quaes avultam as do sr. Righi e as dos srs. Bertin e Garbe. Os resultados de todas são concordes, como vamos ver, em estabelecer definitivamente as idéas do sr. Schuster.

O sr. Righi adoptou nas suas experiencias uma disposição quasi identica á do sr. Crookes, excedendo-o comtudo no rigor com que experimentava. Fez fluctuar o radiometro n'um vaso com agua, mettido dentro d'uma caixa de vidro para evitar

qualquer perturbação que podesse provir das correntes de ar, occasionadas pela irradiação. Os movimentos do recipiente eram cuidadosamente observados, mirando com uma luneta o deslocamento da imagem d'um ponto luminoso, projectada n'uma escala pela reflexão d'uma luz sobre um pequeno espelho que se achava ligado ao radiometro.

Experimentando n'estas condições, observou sempre o seguinte:

Apenas a irradiação incidia sobre o aparelho, o recipiente manifestava immediatamente uma reacção franca, afrouxando-se em seguida o seu movimento, á medida que a velocidade de rotação do molinete augmentava.

Quando esta se tornava constante, o recipiente parava para mais tarde girar em sentido contrario, isto é, no mesmo sentido que o molinete, mal se interceptava a irradiação.

O sr. Righi variou em extremo as suas experiencias, coando a irradiação por laminas de differente diathermanidade, e modificando o modo de suspensão do radiometro. Em todos os casos

chegou a resultados que se harmonisavam perfeitamente com os que tinham sido obtidos pelo sr. Schuster, embora naturalmente alterados pelas condições especiaes das experiencias.

Por ultimo, as experiencias dos srs. Bertin e Garbe.

Emprehendidas tambem com o fim de decidir entre as dos srs. Schuster e Crookes, têm por objecto, como já dissemos, a verificação experimental das consequencias theoricas, deduzidas da applicação ao radiometro do theorema da conservação dos momentos. Distinguem-se das que acabámos de referir, em que n'aquellas os movimentos do recipiente eram sempre tão pouco extensos, que podiam ser sensivelmente perturbados pelas resistencias passivas, necessariamente inherentes a esta ordem de experiencias, e aliaz comparaveis ás forças, cuja acção se pretendia manifestar; em quanto que n'estas essas resistencias são notavelmente attenuadas, e os movimentos do recipiente consideravelmente mais extensos, attingindo mesmo muitas circumferencias.

Assim tambem os trabalhos d'estes physicos afiguram-se-nos de uma importancia superior, e por isso demorar-nos-hemos um pouco mais com a sua exposiçào.

As primeiras experiencias comprehendidas pelos srs. Bertin e Garbe não passaram, por assim dizer, de um ensaio para outras mais completas e mais rigorosas. Pondo-as de parte, principiaremos por aquellas de que já tiraram alguns resultados aproveitaveis.

A determinação da relação entre os momentos de inercia do recipiente e do molinete, para a verificação das fórmulas, obtinha-se pelo methodo das oscillações. Com effeito, fazendo oscillar na extremidade do mesmo fio, primeiro o molinete e depois o radiometro completo, e medindo em seguida a duração  $t$  e  $t'$  das oscillações, temos

$$\frac{\Omega + \Omega'}{\Omega'} = \frac{t'^2}{t^2};$$

e portanto

$$\frac{\Omega}{\Omega'} = \frac{t'^2 - t^2}{t^2}.$$

Fazendo variar convenientemente o pezo do molinete, os srs. Bertin e Garbe construíram para as suas experiencias tres radiómetros, em que a relação  $\frac{\Omega}{\Omega'}$  era igual a 17, 45, 77.

Os recipientes d'estes radiómetros tinham todos a fórma espherica, e eram graduados n'um circulo menor, situado pela parte superior das azas, com o fim de se poder medir a velocidade de rotação. No primeiro e segundo o circulo achava-se dividida em trinta e seis partes, e no terceiro apenas em vinte e quatro.

Foi com este ultimo que experimentaram em primeiro logar.

O radiometro estava suspenso n'uma balança de Coulomb por um cabello de 0<sup>m</sup>,3 de comprimento. Dentro da balança havia por baixo do radiometro um anel, que pelo lado de fóra se podia elevar ou abaixar, permittindo ou impedindo o movimento do recipiente. Vê-se bem de quanta utilidade devia ser esta disposição, para se poderem realizar os diversos casos que formulámos na discussão da equação fundamental; além de que evitava o que-

brar-se o instrumento no caso de ruptura do fio, e servia-lhe de descanso no intervallo das experiencias.

N'estas condições obtiveram resultados sensivelmente concordes com todas as consequencias previstas pela theoria, excepto com uma:

A egualdade

$$\frac{\Omega}{\Omega'} = \frac{\omega'}{\omega}$$

estabelecida a pag. 121, ou a que lhe é equivalente

$$\frac{\Omega}{\Omega'} = \frac{\theta}{\theta'}$$

sendo  $\theta$  e  $\theta'$  as durações medias das revoluções do recipiente e do molinete, nunca se pôde verificar n'estas experiencias:  $\frac{\theta}{\theta'}$  parecia ser constantemente maior do que  $\frac{\Omega}{\Omega'}$ , e não tão pouco, que a differença podesse attribuir-se a erros de observação e á influencia de attritos inseparaveis d'estas experiencias.

Dirigindo em consequencia d'isto a sua attenção especialmente para este ponto, empenharam-se em descobrir as causas de similhante anomalia; e acharam-n'as effectivamente.

A relação

$$\frac{\Omega}{\Omega'} = \frac{\omega'}{\omega}$$

foi deduzida na hypothese de  $\omega$  e  $\omega'$  representarem as velocidades simultaneas do recipiente e do molinete; e aos srs. Bertin e Garbe havia-lhes a principio passado desapercibida essa circumstancia, e não tinham tido o cuidado, nas mencionadas experiencias, de comparar entre si velocidades simultaneas. Tambem, logo que tiveram em vista aquella condição, os resultados numericos aproximaram-se sensivelmente dos indicados pela theoria.

Além d'isto, hão de interferir necessariamente como causa perturbadora as forças exteriores, que são introduzidas pelas condições em que se fazem as experiencias, taes como: a torsão do fio e o attrito do ar em que se move o recipiente do radio-

metro. Estas causas, embora na apparencia insignificantes, não são todavia de ordem tal, que não devam tomar-se em consideração, quando se tracta de apreciar os effeitos de forças já de si muito pequenas.

Tornava-se pois necessario fazer novas experiencias em que se comparassem as velocidades simultaneas, e em que as forças exteriores fossem reduzidas ao minimo.

É o que conseguiram aquelles physicos, alterando pela fórma seguinte a disposição experimental de que a principio se tinham servido.

O local das experiencias era agora a platina da machina pneumatica. Sobre esta collocava-se uma campanula de vidro, terminada por um tubo vertical bastante comprido, e fechado na parte superior por uma tampa metallica. A suspensão do radiometro dentro da campanula era feita por meio d'um fio de côco muito fino de 0<sup>m</sup>,63 de comprimento, que passava ao longo do tubo de vidro e se ligava pela extremidade superior a uma haste dentada. Esta haste, atravessando a tampa do

tubo, podia fazer-se descer ou subir por via d'um botão exterior. Por esta disposição dispensava-se, que o anel, que servia de descanso ao radiometro, fosse movel.

O movimento do recipiente e do molinete era em geral observado por meio de duas lunetas convenientemente dispostas; comtudo n'algumas experiencias, principalmente nas de demonstração, os srs. Bertin e Garbe contentavam-se em projectar a imagem do radiometro sobre um diaphragma onde estava traçada uma linha de mira vertical. Dois contadores de bater segundos, adjunctos ao apparelho, permittiam registrar o tempo decorrido.

N'estas condições procediam assim :

Principiavam por fazer o vazio dentro da campanula para eliminar quasi na sua totalidade a resistencia do ar, e bem assim as correntes provocadas pela irradiação, que iam necessariamente perturbar os movimentos do recipiente.

Em seguida, depois de exposto o radiometro á irradiação, punham em movimento os dois contadores, e passado um minuto, pouco mais ou menos,



Divisões do recipiente	Tempo decorrido desde o principio das observações	Intervallos correspondentes á passagem d'uma divisão á seguinte	Volts do molinete	Tempo decorrido desde o principio das observações	Duração de cada uma das revoluções do molinete
17	2 <sup>s</sup> ,3		0	3 <sup>s</sup> ,9	
16	7,9	5 <sup>s</sup> ,6			
15	12,5	4,6	1	14,4	10 <sup>s</sup> ,5
14	16,4	3,9			
13	20,8	4,4			
12	24,7	3,9	2	23,1	8,7
11	28,1	3,4			
10	31,4	3,3	3	30,3	7,2
9	34,5	3,1			
8	37,6	3,1	4	37	6,7
7	40,7	3,1			
6	43,4	2,7	5	43	6
5	46,2	2,8			
4	49,1	2,9	6	48,3	5,3
3	51,4	2,3			
2	54,1	2,7	7	53,6	5,3
1	56,7	2,6			
0	59,2	2,5	8	58,5	4,9
—	—	—	—	—	—
17	56,9	Med. 3,347	8	54,6	Med. 6,825

Attendendo a que a circumferencia do recipiente estava dividida em trinta e seis partes, é evidente que n'esta experiencia era

$$\theta = 3,347 \times 36,$$

$$\theta' = 6,825;$$

e portanto

$$\frac{\theta}{\theta'} = \frac{\omega'}{\omega} = \frac{\Omega}{\Omega'} = 17,654.$$

Experiencias analogas feitas com os tres radiometros de que já fallámos, e cujas relações entre os momentos de inercia dos recipientes e respectivos molinetes eram

$$17, \quad 45, \quad 77$$

deram para  $\frac{\theta}{\theta'}$  os valores

$$17,3, \quad 47,5, \quad 81,7.$$

Estes numeros, como vemos, já se aproximam

\*

muito dos resultados theoreticos. As differenças que ainda existem, podem attribuir-se a erros de observação, e á impossibilidade de eliminar completamente o ar da campanula em que se move o recipiente, e bem assim de annullar a força de torsão do fio que o suspende. Estas causas hão de necessariamente retardar o movimento do recipiente, e por conseguinte a relação  $\frac{\omega'}{\omega}$  deve achar-se pela experiencia um pouco maior do que o indica a theoria. Isto está de harmonia com os resultados numericos que deixamos apontados.

E de mais a verificação experimental que os srs. Bertin e Garbe conseguiram de todas as outras consequencias theoreticas, e muito especialmente da que vem designada no fim da pag. 123, é prova mais que sufficiente, de que o movimento do radiometro deriva de forças exclusivamente desinvolvidas no seu interior, e não da acção mechanica directa da irradiação.

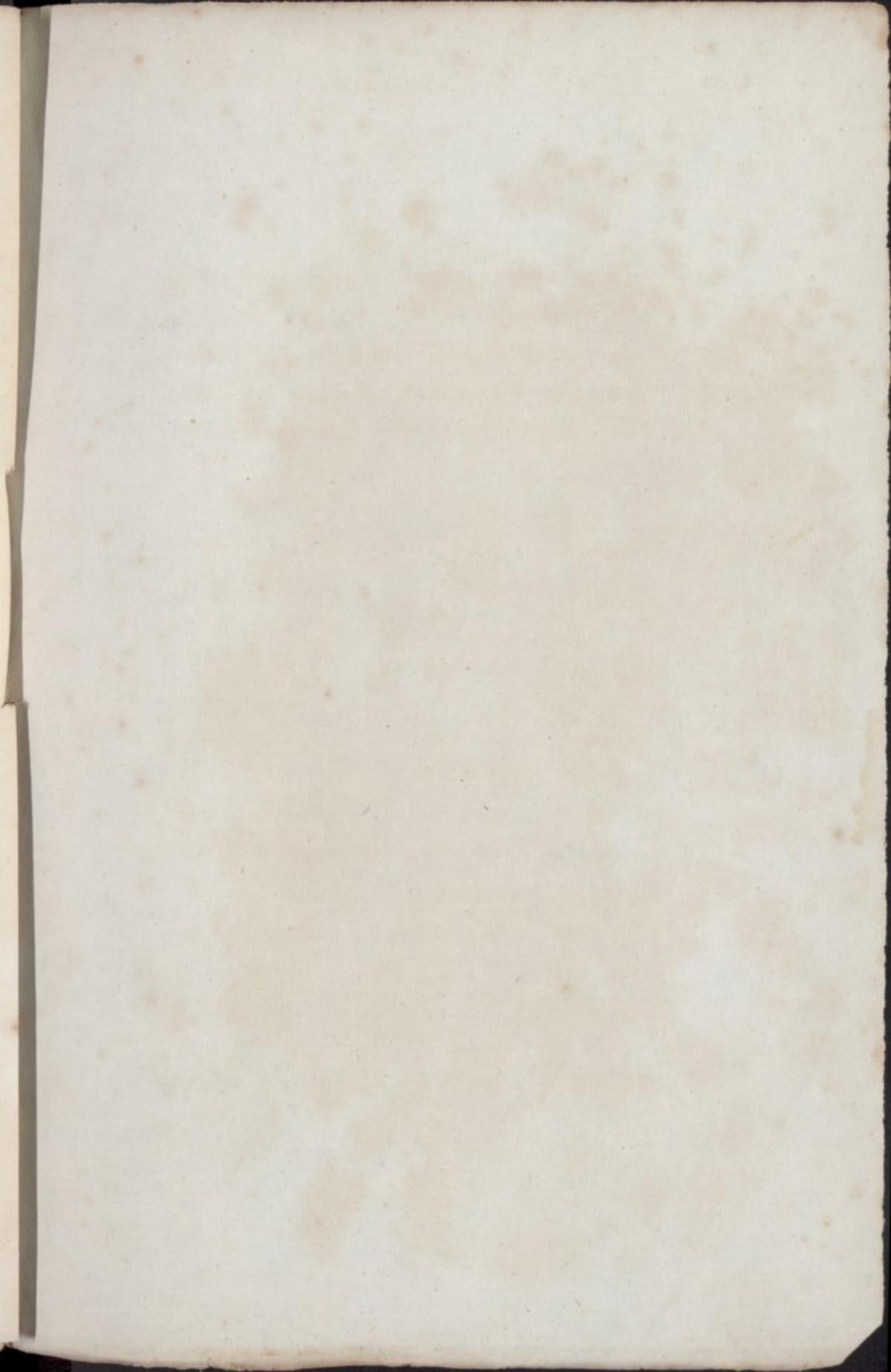
Em conclusão, pois, o radiometro que a principio apparecera com a pretensão de constituir

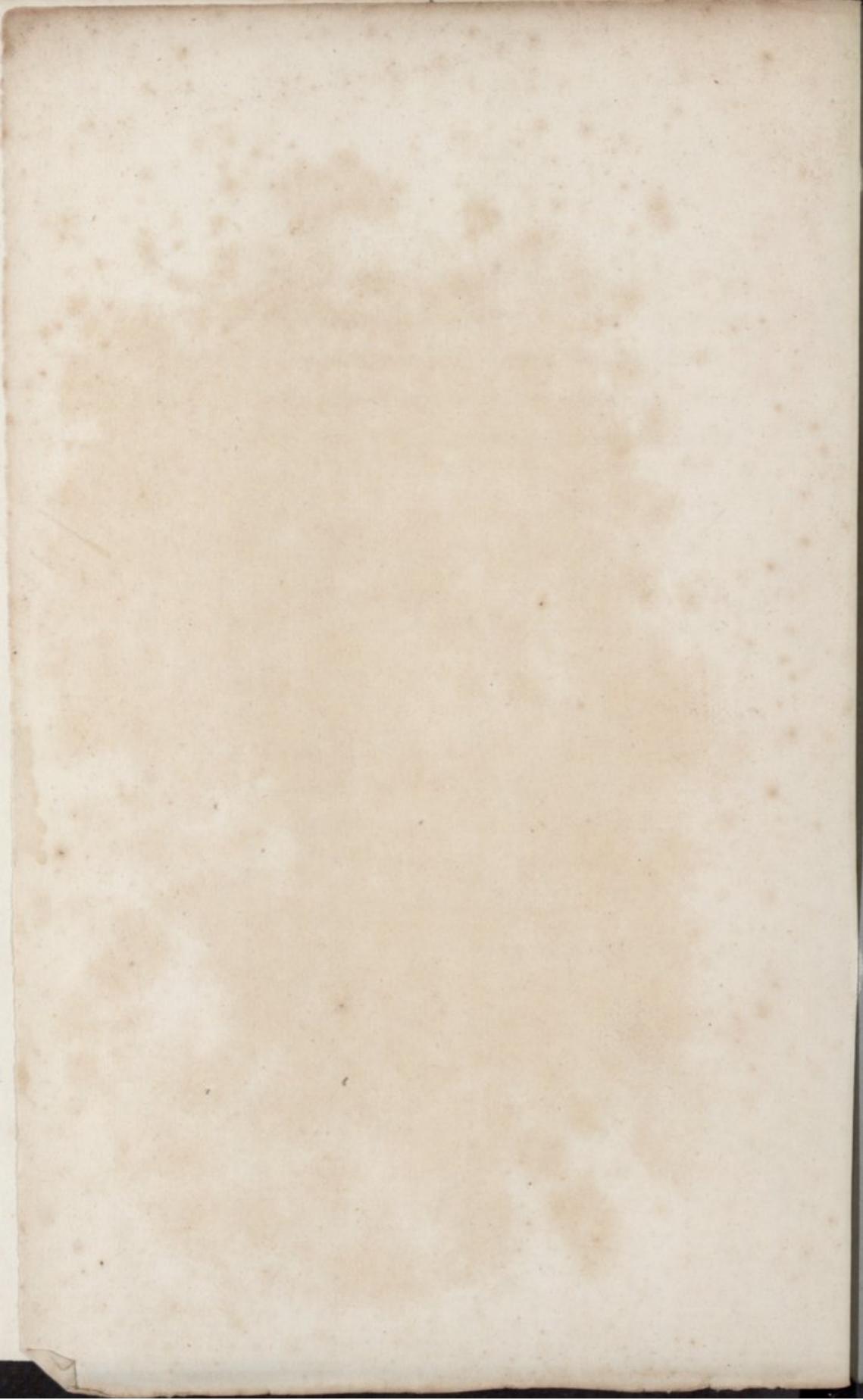
um dos elos que ainda faltavam na grande cadeia em que se ligam as diversas manifestações da Força, teve de resignar-se, depois d'estes trabalhos, a figurar apenas entre os instrumentos de physica recreativa.

FIM.











8572 020000 048572 0

