

GAZETA DE FISICA

SOCIEDADE PORTUGUESA DE FISICA



VOL. 10, FASC. 3

Publicação Trimestral

Julho a Setembro 1987

GAZETA DE FISICA

Fundada em 1946 por A. Gibert

Propriedade e Edição: Sociedade Portuguesa de Física

Director: Filipe Duarte Santos (Secretário-Geral da S.P.F.)

Comissão de Redacção e Administração

Conselho Directivo da S.P.F.: H. Machado Jorge, F. Duarte Santos, J. Bessa Sousa, Ana M. Eiró, Carlos Matos Ferreira, F. Costa Parente, M. Fernanda Silva, J. Brochado Oliveira, J. Monteiro Moreira, N. Ayres Campos, C. Lopes Gil.

Endereço: Sociedade Portuguesa de Física, Av. da República, 37-4.º — 1000 Lisboa

A **Gazeta de Física** publica artigos, com índole de divulgação, considerados de interesse para estudantes, professores e investigadores em Física. Os artigos podem ter índole teórica, experimental ou aplicada, visando promover o interesse dos jovens pelo estudo da Física, o intercâmbio de ideias e experiências profissionais entre os que ensinam, investigam ou aplicam a Física. As opiniões expressas pelos autores não representam necessariamente posições da S.P.F.

A **Gazeta de Física** deverá constituir também um espaço de informação para as actividades da S.P.F., nomeadamente as suas Delegações Regionais e Divisões Técnicas.

Os manuscritos deverão ser submetidos para publicação em duplicado, dactilografados a dois espaços. Figuras ou fotografias deverão ser apresentadas em folhas separadas e prontas para reprodução, com eventual redução de tamanho.

Toda a correspondência deverá ser enviada para

Gazeta de Física

Sociedade Portuguesa de Física

Av. República, 37-4.º — 1000 LISBOA

A **Gazeta de Física** é enviada gratuitamente a todos os Sócios da S.P.F. no pleno uso dos seus direitos.

Preço de assinatura : país 1000\$00 ; estrangeiro US\$20.

Preço do fascículo avulso (sede e delegações da SPF) : 250\$00.

Publicação subsidiada pelo Instituto Nacional de Investigação Científica
e pela Junta Nacional de Investigação Científica e Tecnológica

Tiragem: 2200 exemplares

Materialismo e Idealismo em Física (*)

JOSÉ MARIA FILARDO BASSALO

Departamento de Física da Universidade Federal do Pará

Baseado na história de algumas teorias físicas, procuramos mostrar neste trabalho que a discussão sobre o materialismo e o idealismo em Física é puramente verbal e, até um certo sentido, irrelevante para o trabalho do físico, segundo Kemble, pois algumas teorias físicas apresentam ora aspectos idealistas, ora aspectos materialistas. Escolhemos dois tipos de teorias: sobre a estrutura da matéria e sobre a estrutura e evolução do Universo. O desenvolvimento histórico dessas teorias tem mostrado que em certos estágios, ora a matéria deriva da idéia, nesse caso ela é considerada como uma teoria idealista, ora a idéia deriva da matéria, e então é considerada uma teoria materialista, se usarmos para isso a classificação de Politzer.

Há vários séculos, o homem tenta responder à seguinte questão: qual o princípio que rege o conhecimento humano? Ou se colocada de outra maneira: qual o substrato ideológico do conhecimento humano? Para responder a essa indagação longos debates têm sido travados entre filósofos e cientistas (alguns destes também filósofos). Apesar da diversidade de teorias formuladas no sentido de elucidar a polémica questão, há somente dois tipos de respostas para a mesma, conforme nos fala Georges Politzer [1]: ou a *matéria* (o ser, a natureza) é eterna, infinita, primeira e o *espírito* (a idéia, o pensamento, a consciência) deriva dela; ou então a matéria deriva da idéia, sendo então esta eterna, infinita, primeira. A primeira dessas respostas é a que constitui a base do *materialismo filosófico* [2]; e a segunda, a base do *idealismo filosófico*.

Neste trabalho, procuramos mostrar através de alguns exemplos, que pelo menos em Física, essa questão continua em aberto, pois, das várias teorias físicas construídas no sentido de explicar uma parte do Universo, algumas são consideradas materialistas, enquanto que outras são tidas como idealistas. Às vezes, não muito raro, uma mesma teoria apresenta aspectos

quer idealistas, quer materialistas. Portanto, em vista disso, parece que a discussão sobre materialismo e idealismo em Física é puramente verbal e irrelevante para o trabalho do físico, como, aliás, concluiu o físico norte-americano Edwin C. Kemble em trabalho que realizou em 1938 [3], após estudar a célebre polémica travada entre Einstein e Bohr, nos 5.º e 6.º Congressos Solvay, ocorridos, respectivamente, em 1927 e 1930. A questão que motivou a discussão entre esses notáveis nórdicos, era de saber se a realidade física podia ou não ser descrita pela Mecânica Quântica, desenvolvida entre 1925 e 1927, nos trabalhos de Born, Heisenberg, Jordan, Schrödinger, Pauli e Dirac, já que tal teoria havia recebido uma interpretação, tida como idealista, pela Escola de Copenhague, Escola essa que era liderada por Bohr. Tal interpretação baseara-se nas *relações de incerteza* demonstradas por Heisenberg, em 1927, e no *princípio da complementaridade*

(*) Comunicado no «I Seminário Nacional sobre a História da Ciência e da Tecnologia», Rio de Janeiro, Setembro de 1986.

A Comissão Redactorial respeitou integralmente a grafia do autor, mesmo quando ela se afastava da que é corrente em Portugal.

que o próprio Bohr enunciara em 1927-1928 ⁽¹⁾.

Antes de examinarmos alguns exemplos de teorias físicas materialistas e/ou idealistas, vamos primeiro ver como esses conceitos filosóficos apresentam-se na Teoria do Conhecimento. Segundo Hessen [4], a Teoria do Conhecimento é uma explicação ou interpretação filosófica do conhecimento humano. Ainda segundo esse mesmo autor, no conhecimento encontram-se frente a frente consciência e objeto, isto é, *idéia* e *matéria*, sendo que o conhecimento apresenta-se como uma correlação entre sujeito e objeto, na medida em que o sujeito só é sujeito para um objeto, e o objeto só é objeto para um sujeito. Essa correlação contínua entre sujeito e objeto é definida por Lefebvre [5] como uma interação dialética, o que os torna — sujeito e objeto — indissolivelmente ligados. Separá-los, acentua ainda esse autor, seria uma atitude metafísica. Então, a questão ideológica colocada no início deste trabalho é a de saber se, sendo tal ligação aberta, por onde iniciar essa interação dialética: a partir do sujeito ou a partir do objeto? Contudo, não poderá ser essa ligação fechada no sentido de não haver necessidade de uma relação de ordem do tipo primeiro-segundo entre sujeito e objeto? Pelo menos em Física, parece ser isso verdadeiro, conforme tentaremos mostrar neste trabalho, já que a análise que faremos de certas teorias físicas indica que ora algumas delas privilegiam o sujeito, outras privilegiam o objeto, na interação dialética indicada por Lefebvre.

Até o advento da Mecânica Quântica e sua interpretação idealista por parte da Escola de Copenhague, já por nós referida, a questão do materialismo e idealismo não era crucial em Física como veremos a seguir. A Física Clássica, constituída basicamente das mecânicas newtoniana e analítica (Newton, Lagrange, Laplace, Hamilton, Jacobi), do eletromagnetismo maxwelliano, da termodinâmica gibbsiana, da mecânica estatística boltzmanniana, acrescida da relatividade einsteiniana, descreve, por exemplo, uma realidade física evidenciando nela uma separação absoluta entre sujeito e objeto, já que suas leis se referem somente a

um enunciado de um objeto físico. Contudo, a interpretação idealista da física quântica coloca em destaque a relação entre sujeito e objeto, relação essa determinada através de aparelhos de medida considerados também como observadores, segundo nos fala Bunge [6]. Em consequência disso, aparece então em Física a velha questão filosófica de saber qual o princípio ideológico (materialismo ou idealismo) que rege o conhecimento e, conseqüentemente, velhas e novas teorias físicas passaram a ser examinadas sob essa ótica ideológica. Assim, por exemplo, o famoso debate entre Einstein e Bohr sobre realidade física, o qual já nos reportamos acima, levou Kurt Hübner, em 1973 [7], a afirmar que tal realidade pode ser interpretada de duas maneiras: ou ela consiste de substâncias que possuem propriedades independentes de suas relações com outras substâncias, ou então a realidade física é essencialmente uma relação entre substâncias, sendo a *medida* um caso especial de tal relação. Ainda segundo Hübner, o primeiro ponto de vista era defendido por Einstein e o segundo por Bohr, naquele célebre debate. Portanto, cremos poder dizer que o ponto de vista einsteiniano sobre realidade física é *materialista*, na medida em que são as substâncias que determinam relações. Por outro lado, o ponto de vista bohriano é *idealista* já que, segundo ele, as substâncias são definidas por relações, através de uma medida.

(1) As *relações de incerteza* de Heisenberg significam que existem pares de grandezas físicas que não podem ser medidas simultaneamente, pois seus operadores não comutam (Exemplo: posição x e momento linear p_x). O *princípio da complementaridade* de Bohr significa que esses pares de grandezas físicas são complementares, isto é, se uma medida, por exemplo, prova o caráter ondulatório da radiação ou da matéria, então é impossível provar o caráter corpuscular na mesma medida, e vice-versa. De acordo com conceitos idealistas, o princípio da complementaridade não reflete as propriedades objetivas dos microsistemas, mas é determinada pelas condições de medida. Assim, o resultado de uma medida depende tanto das propriedades dos aparelhos de medida, quanto das propriedades do objeto que está sendo medido. (Cf. DAVYDOV, A. S. 1968. *Quantum Mechanics*. Addison-Wesley Publishing Company Inc. Tradução: D. ter Haar).

Agora, vejamos algumas teorias físicas para as quais se aplicam o conceito de materialista ou de idealista, ou mesmo de serem ora materialista, ora idealista, dependendo da ideologia de quem as estuda. Iniciemos pelas que se referem à estrutura da matéria. As teorias monistas, isto é, as teorias segundo as quais todas as coisas são feitas de uma única matéria primitiva [8], ocorreram na Grécia Antiga e devem-se aos filósofos pré-socráticos. Assim, Tales de Mileto (624-547) afirmava que o elemento primordial do Universo ou «arché» era a água «sobre a qual a terra flutua e é o começo de todas as coisas» [9]. Já Anaximenes de Mileto (~ 585-~ 527) achava que o ar seria o elemento primordial universal, pois através de sua condensação ou de sua rarefação, as outras coisas do Universo são obtidas. O aspecto materialista dessa teoria pode ser visto no único fragmento [10] seu conhecido: —«como nossa alma, que é ar, nos governa e sustém, assim também o sopro e o ar abraçam todo o cosmos». No entanto, Xenófanes de Cólofon (~ 580-~ 460) ao afirmar que «tudo sai da terra e tudo volta à terra», considerava a terra como tal elemento fundamental. Heráclito de Éfeso (~ 540-~ 480), por sua vez, acreditava ser o fogo o «arché» do Universo, como se pode constatar dessa afirmação: — «Esse mundo, igual para todos, nenhum dos deuses e nenhum dos homens o fez; sempre foi, é e será um fogo eternamente vivo, acendendo-se e apagando-se conforme a medida».

Outro aspecto materialista-monista das teorias relativas à constituição da matéria pode ser visto nas teorias atômicas da matéria dos filósofos antigos. Com efeito, a concepção de que o Universo era formado por átomos (indivisíveis, em grego) foi defendida por Leucipo de Abdera (~ 460-~ 370) e por seu discípulo Demócrito de Abdera (~ 470-~ 380). Para esses dois filósofos da Grécia Antiga, tudo no Universo era feito de átomos que, contudo, não eram todos iguais. Para Demócrito, por exemplo, o corpo humano era constituído por átomos grosseiros; a alma, por sua vez, era composta por átomos mais finos (lisos e redondos como os do fogo), e os deuses formados

por átomos extra-finos. Ainda para Demócrito, os átomos eram infinitos em número e forma. No entanto, para esses filósofos, os átomos só tinham grandeza e forma, tendo Epicuro de Samos (341-210) acrescentado peso aos mesmos, pois, para ele, o movimento dos corpos só poderia ser explicado se os átomos fossem pesados, uma vez que o movimento, na sua concepção, era devido à ação do peso. O atomismo foi levado até as suas últimas consequências pelo romano Tito Lucrécio Caro (~ 95-~ 55) que acreditava serem todos os objetos da Natureza, até os imateriais como a mente e a alma, constituídos de átomos. Essa visão atomística da Natureza foi apresentada por Lucrécio em seu livro *De Rerum Naturae*, publicado por volta de 56 a.C., na forma de versos hexâmetros e, no qual, também é realçada a noção essencial do atomismo que é o vácuo, pois, logo no início de seu poema, lê-se: «...A Natureza do Universo consiste então, em sua essência, de duas coisas: existem átomos e existe vazio». É oportuno salientar que os antigos atomistas nunca tiveram condições de demonstrar a existência do vácuo, o que só ocorreu com o físico italiano Evangelista Torricelli (1608-1647), em 1643, ao medir a pressão atmosférica.

Por ser o conceito de vazio considerado totalmente ilógico, alguns filósofos da Grécia Antiga passaram a rejeitar a teoria materialista-atômica-monista e adotaram a teoria materialista-não-monista de Empedocles de Agragas (hoje, Agrigento; ~ 490-~ 430). Para esse filósofo siciliano, as coisas na Natureza eram formadas pela combinação de quatro elementos fundamentais: o fogo, de um lado; e terra, ar e água, que lhe são opostos, de outro. Para Empedocles, contudo, tais elementos «são eternos e não foram gerados, mas unem-se em quantidade maior ou menor à unidade e dela separam-se novamente», conforme escreveu Aristóteles de Estagira (348-~ 322), em sua *Metafísica I*. O carácter materialista dessa concepção quaternária de Empedocles é evidenciado pelo idealista Platão (~ 428-~ 348) no *Timaeus* ao relacionar esses quatro elementos com os sólidos regulares pitagóricos da seguinte

maneira: água-icosaedro, ar-octaedro, fogo-tetraedro e terra-hexaedro. Ainda para esse filósofo grego, o quinto poliedro regular conhecido, o dodecaedro, simbolizava o Universo como um todo. Essa concepção quaternária da Natureza foi retomada por Aristóteles, porém com uma nova visão. Assim, na física aristotélica [11] existiam quatro substâncias primordiais: fluidas (*tò hydrón*), sólidas (*tò xerón*), quentes (*tò thérmon*), e frias (*tò psychrón*), sendo que os quatro elementos empedoclianos resultavam da combinação alternada de pares dessas quatro substâncias fundamentais e segundo o esquema: fogo-quente e xerón; ar-quente e hydrón; água-fria e hydrón terra-fria e xerón.

A cultura romana que sucedeu à cultura grega não se interessou muito por esta, e particularmente após a queda do Império Romano do Ocidente em 476 d.C., é preciso esperar pelo influxo dos contactos com o Islã tornado o centro intelectual do mundo (a partir do séc. VIII), graças ao interesse e apoio culturais de califas famosos como Harun-al-Raschid (764-809), Al-Mansur (f. 762) e seu neto Al-Mámun (786-833) [12]. Contudo, graças à larga Reconquista hispânica (conquista de Valência por El-Cid em 1094) e o início das Cruzadas em 1095, as bibliotecas islâmicas filtram progressivamente o seu saber para o mundo ocidental. Desse modo, a cultura e os filósofos gregos antigos que haviam sido traduzidos maciçamente para o árabe, voltaram a influenciar a cultura ocidental. Em consequência disso, a concepção materialista dos gregos a respeito da constituição da matéria sofreu influência da religião islâmica, daí observar-se certo aspecto idealista nessa concepção. Por exemplo, Moisés Maimônides (1135-1204) afirmava que tudo na Natureza era constituído por átomos, inclusive o espaço e o tempo, sendo este último constituído por elementos atômicos chamados *agoras*. Dizia ainda esse filósofo árabe de origem judaica, que os átomos com todas as suas qualidades eram continuamente criados por Alá, e que eram todos semelhantes, porém não possuíam propriedades quantitativas, mas apenas qualitativas.

Essa visão idealista dos atomistas do Islã

em atribuir apenas propriedades qualitativas aos átomos foi também considerada pelos alquimistas árabes com relação aos elementos fundamentais da Natureza. Além dos quatro elementos dos gregos antigos, os alquimistas consideravam ainda o enxofre, os sais e o mercúrio. Portanto, segundo Teofrasto Bombasto Paracelso (1493-1541), divulgador no Ocidente da cultura científica árabe, as propriedades primordiais desses elementos fundamentais universais encontravam-se em suas próprias qualidades e não em si mesmas. Assim, o enxofre teria a qualidade da combustão (fogo), o sal teria a qualidade da calcinação (terra) e o mercúrio teria a qualidade da liquefação (água).

A idéia do átomo como uma partícula indivisível da matéria (porém como uma hipótese filosófica ou metafísica), permanece até o início do século XIX quando surgiu, então, o atomismo científico com os trabalhos de John Dalton (1766-1844), Joseph-Louis Gay-Lussac (1778-1850) e Amedeo Avogadro (1776-1856). Nesses trabalhos realizados, respectivamente, em 1803, 1808 e 1811, encontramos as primeiras tentativas no sentido de demonstrar a existência *real* dos átomos e moléculas. Contudo, a visão atômica da matéria, no sentido moderno, somente foi introduzida em sua forma mais elementar por André Marie Ampère (1775-1836), em 1814. Segundo Ampère, o átomo não era a partícula indivisível greco-romana-árabe e sim era constituído de partículas subatômicas [13]. Essa hipótese de Ampère, foi por ele formulada com o objetivo de explicar o átomo dos elementos químicos, elementos esses que haviam sido definidos pela primeira vez por Robert Boyle (1627-1691), em 1661, e da seguinte forma [14]: — «...o que entendo por elementos... são certos corpos primitivos e simples, perfeitamente sem mistura, os quais, não sendo formados de quaisquer outros corpos, nem uns dos outros, são os ingredientes dos quais todos os corpos perfeitamente misturados são feitos, e nos quais podem finalmente ser analisados... «Essa definição materialista foi-se comprovando à medida que novos elementos químicos foram sendo descobertos, ou mesmo obtidos artificialmente.

A proposta de Ampère sobre a estrutura do átomo, foi sendo cada vez mais aperfeiçoada através de diversos modelos [15] nos quais, basicamente, o átomo consistia de uma parte central massiva (núcleo), envolvida por uma atmosfera de partículas quase imponderáveis. Inicialmente, alguns modelos consideravam que a força entre tais partículas e a parte central do átomo era do tipo gravitacional (por exemplo, no modelo de Fechner [16] (1828)) e, posteriormente, tal força foi considerada do tipo elétrica (por exemplo, no modelo de Weber [17] (1871)), no momento em que os constituintes do átomo passaram a ser considerados como possuidores de carga elétrica. Essa concepção de que partículas eletrizadas ou «elétrons» ⁽²⁾ faziam parte do átomo teve seu grande momento quando Hendrik Antoon Lorentz (1853-1928), através de sua famosa teoria dos elétrons, apresentada em 1892, explicou alguns fenômenos físicos até então incompreendidos (como, por exemplo, a dispersão da luz, isto é, a dependência do índice de refração de uma substância com a frequência da luz que a atravessa) e conseguiu prever a existência de um novo fenômeno físico, fenômeno esse observado experimentalmente em 1896 por seu discípulo Pieter Zeemann (1865-1943) ⁽³⁾. A existência *real* desses «elétrons» foi comprovada nas famosas experiências de Sir Joseph John Thomson (1856-1940) realizadas em 1897, nas quais ficou demonstrado que os raios catódicos de Goldstein [18] eram constituídos por partículas eletrizadas negativamente. Em tais experiências, Thomson determinou também a relação e/m entre a carga elétrica (e) e a massa (m) das mesmas.

A descoberta de novos fenômenos físicos ocorridos no final do século passado (efeito fotoelétrico; 1887; raios-X, 1895; radioatividade, 1896; etc.), associada à existência real dos elétrons (1897), levou os físicos a desenvolverem novos modelos atômicos com o objetivo de explicar aqueles fenômenos. Nesses modelos, basicamente, o átomo neutro era composto de um núcleo positivo rodeado por elétrons negativos, como indica o famoso modelo atômico de Rutherford (1911)-Bohr

(1913) [19]. Apesar do grande sucesso dos modelos atômicos desenvolvidos no início do século XX, os pensadores idealistas se lançaram contra a própria existência da matéria, usando argumentos do tipo: — «O elétron nada tem de material, pois é apenas uma carga elétrica em movimento. Se não há matéria na carga negativa, não há também na carga positiva. Portanto, a matéria deixou de existir. Só há energia» [20]. Ora, apesar de Einstein em 1905, haver afirmado que «a massa de um corpo é a medida de seu conteúdo de energia», afirmação essa apresentada por ocasião em que formulou a sua famosa Teoria da Relatividade Restrita, os pensadores materialistas usavam (e os atuais também a usam) a filosofia materialista-leninista para defender a tese materialista do modelo atômico, baseado em Vladimir Ilich Ulyanov (Lenin) (1870-1924), já que em seu livro *Materialismo e Empirocriticismo* (1908), mostrara que energia e matéria são inseparáveis [21]. É oportuno lembrar que os materialistas acusavam (e acusam) a relatividade einsteiniana de ser idealista, pois que, para eles, nesta teoria, a medida do espaço e do tempo, essenciais nessa teoria, depende da *idéia* de referencial. Não obstante tal acusação a Einstein, este, conforme vimos anteriormente, sustentava uma tese materialista para a Mecânica Quântica, em oposição à tese idealista da escola de Bohr.

Ao completarmos essa pequena descrição dos aspectos materialistas e/ou idealistas das teorias que procuram explicar os constituintes últimos da matéria, vamos agora falar alguma coisa sobre os *quarks* que, no momento atual, representam, de certa maneira, os átomos dos gregos antigos. A teoria dos quarks [22, 23] foi proposta pela primeira vez em 1964 por Murray Gell-Mann e, independentemente, por George Zweig, para poder explicar a razão pela qual certas partículas elementares (*mésons*

(2) O nome elétron foi cunhado por George Johnstone Stoney (1826-1911), em 1891.

(3) Esse efeito, conhecido a partir daí como «Efeito Zeeman», representa a decomposição de uma linha espectral de uma substância na presença de um campo magnético externo.

e *bárions*) se agrupam em «famílias» ou em «supermultipletos» de mesmo spin e paridade (J^P). Assim, segundo essa teoria, os mésons são formados de um par de quark-antiquark e os bárions por três quarks. Até o presente momento (1986) existem previstos teoricamente (e com resultados experimentais que indicam sua existência) seis tipos ou «sabores» («flavors») de quarks: *up* (u), *down* (d), *strange* (s), *charme* (c), *bottom* (b), *top* (t) ⁽⁴⁾. Contudo, apesar de algumas tentativas no sentido de detectar ou de isolar esses quarks [24], ainda não existem resultados experimentais conclusivos que indiquem a sua existência como partícula isolada. Por outro lado, a partir de 1974 começaram a surgir teorias chamadas de *confinamento* [25] que tentam explicar o por quê dos quarks não poderem ser encontrados isolados na Natureza.

Essa teoria de quarks confinados é uma boa razão para uma discussão entre idealistas e materialistas. Por exemplo, os pensadores materialistas são tentados a dizer (se já não o disseram!) que as atuais teorias de quarks são materialistas, pois que, para esses pensadores, o fato de experiências indicarem a existência *real* de partículas compostas de quarks confinados é que leva à relação de confinamento entre os quarks. Por seu turno, os pensadores idealistas poderão afirmar (se já não afirmaram!) que a *idéia* da relação de confinamento entre os quarks é que leva à *realidade* dos mésons e dos bárions.

Um segundo exemplo da teoria física em que podemos destacar aspectos materialistas e/ou idealistas, é o relacionamento com a estrutura e evolução do Universo, isto é, com a *Cosmologia*. Desde o momento em que o homem na Terra olhou para o céu e percebeu a existência de «estranhos» objetos, deve ter-se perguntado como tais objetos foram parar lá e qual a origem de tudo que percebera. As primeiras respostas a essa pergunta foram de cunho divino e mitológico. Por exemplo, no livro do *Gênesis*, lê-se: — «No princípio Deus criou o Céu e a Terra» [26]. Já no livro *Nova Edda*, coletânea de mitos escandinavos compilados em 1220 por Snorri Sturleson, a

origem do Universo é assim explicada: — «No princípio era o Nada. A Terra não existia nem o Céu, e só existia o Abismo, e em nenhuma parte havia erva. Para o norte e o sul do Nada, ficavam as regiões do frio e do fogo, *Niflheim* e *Muspelheim*. O calor do Muspelheim derreteu a parte de Niflheim, e das gotas líquidas nasceu um gigante, Ymer. O que comia Ymer? Parece que também havia uma vaca, Audhumba. O que a vaca comeria? Parece que também havia sal...» [27]. Parece-nos que tais respostas poderiam ser consideradas como sendo, respectivamente, idealista e materialista, pois que, a primeira delas parte da idéia de Deus criando o Universo, e a segunda, considera alguma coisa material existindo inicialmente (frio, calor, vaca, etc.) no Universo, e através delas, as outras coisas foram então sendo criadas.

Contudo, na medida em que o homem foi obtendo novos dados sobre o Universo, novas teorias foram sendo elaboradas com o objetivo de explicar a estrutura do Universo. Provavelmente, os primeiros homens a fazer registros científicos sobre o Universo, foram os astrônomos que viveram na Babilônia e em Nínive, duas cidades da Mesopotâmia. Por exemplo, eles descobriram o *Saros* (nome dado pelo lexicógrafo grego Suidas, no século X), período de 18 anos e 11 meses durante o qual os eclipses solares se repetem. Por sua vez, o caldeu Naburiannu (fl.c. 419 a.C) calculou a duração do ano solar em 365 dias, 6 horas, 15 minutos e 41 segundos ⁽⁵⁾, bem como registrou um grupo de efemérides dando a posição da Lua, do Sol e dos Planetas [28]. Em tabuinhas de argila, esses primeiros astrônomos registraram também os complicados movimen-

(4) Os resultados experimentais que sugerem a existência dos quarks são os decorrentes da descoberta de novas partículas elementares. Assim em 1974, foi descoberto o méson $\Psi/J = c\bar{c}$; em 1977, o méson $T = b\bar{b}$; e, recentemente, em 1983, a descoberta das partículas W^+ , W^- e Z_0 (mediadora da interação fraca), indica a presença de um novo méson envolvendo o quark top (t) e sua anti-partícula, o antiquark top (\bar{t}).

(5) Esse cálculo foi aperfeiçoado pelo astrônomo babilônio Kiddinu (~340 a.C. —?) e pelo astrônomo grego Eudoxo de Cnido (408-355).

tos dos planetas. No entanto, pelo que se sabe [29], eles não elaboraram nenhum modelo para explicar aqueles movimentos, o que só aconteceu com os astrónomos gregos. Assim Eudoxo formulou um modelo segundo o qual, basicamente, o complexo movimento planetário podia ser explicado admitindo-se o Universo constituído por um conjunto de 26 esferas homocêntricas e assim distribuídas: 4 para cada planeta até então conhecidos (Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno), 3 para o Sol e 3 para a Lua ⁽⁶⁾.

Aristóteles ao formular sua Cosmologia adotou o modelo de esferas homocêntricas de Eudoxo-Calipo, às quais acrescentou outras, perfazendo um total de 55. No entanto, ao que parece, supunha que tais esferas fossem reais ao contrário de Eudoxo, que as entendia apenas para auxiliar seus cálculos astronômicos. Contudo, para o estagirista, o Universo físico se dividia em duas partes distintas: o Universo sub-lunar, conjunto de seres (inanimados e vivos) estritamente terrestres e constituídos pelos quatro elementos de Empédocles; e o Sideral (ou supralunar) que compunha todo o espaço celeste e constituído por um quinto elemento — o *éter*. Ainda para Aristóteles, «a forma da abóbada celeste é necessariamente esférica, por ser a esfera configuração mais adequada. Os planetas movem-se em torno da Terra, porque o círculo é, dentre as figuras, a principal. Esfera e círculo ocupam em primeiro lugar...» [30]. Em seu modelo de Universo, Aristóteles considerava que ele era eterno e finito, porém, o movimento das esferas dos planetas era impulsionado por um primeiro motor, o Deus aristotélico. É fácil constatar então, que esse modelo de Universo de Eudoxo-Calipo-Aristóteles, é uma mistura de concepções materialista e idealista, pois parte do pressuposto de que o nosso mundo é eterno e, por outro lado, admite também o pressuposto de que os elementos geométricos envolvidos no modelo devem ser o círculo e a esfera, por causa de suas perfeições, e por considerar um agente divino como o responsável pelo movimento dos planetas.

Não obstante ser o modelo das esferas

homocêntricas muito engenhoso, ele apresentava algumas dificuldades. Com efeito, esse modelo não conseguia explicar porque os planetas se tornavam mais brilhantes em seu movimento retrógrado; por que havia variação na velocidade dos planetas (o Sol tido como um deles) em suas órbitas; e por que havia elongações limitadas para Mercúrio e Vênus: 24° e 48°, respectivamente, a partir do Sol. Assim vários modelos foram pesquisados no sentido de explicar essas anomalias. Por exemplo, o astrónomo grego Heraclides do Ponto (~388-~315) formulou o modelo de que Mercúrio e Vênus giravam em torno do Sol (para poder explicar suas elongações máximas), e este, como os demais planetas, giravam em torno da Terra. Além disso, para poder explicar o movimento dos planetas no céu de estrelas, Heraclides admitiu, provavelmente pela primeira vez, a rotação da Terra em torno de seu próprio eixo ⁽⁷⁾.

⁽⁶⁾ Quatro esferas para cada planeta eram assim distribuídas: o planeta se encontra fixo no equador de uma esfera que gira em torno da Terra; os polos da mesma são deslocados por uma segunda esfera que gira em torno de um eixo normal ao plano da eclíptica; uma terceira esfera exterior às duas anteriores justifica o movimento do planeta em relação ao céu das estrelas fixas; a quarta esfera justificava o movimento retrógrado. Como o Sol e a Lua não apresentam movimentos retrógrados, então só necessita de três esferas para explicar seus próprios movimentos. Esse modelo de Eudoxo foi aperfeiçoado por um seu aluno, o astrónomo grego Calipo de Cízico (~370-~300) que lhe adicionou mais 8 esferas, principalmente para explicar os complicados movimentos de Mercúrio e de Vênus. (Cf. OSLER, M. J. and SPENCER, J. B. 1978. *History of Physical Sciences*. Encyclopaedia Britannica, Macropaedia, Vol. 14).

⁽⁷⁾ A hipótese de que a Terra não era imóvel já havia sido admitida pelo filósofo grego Pitágoras (580-500), (e defendida pelo também filósofo grego FILOLAU (480- ?)) ao considerar que a Terra juntamente com os demais planetas e mais as estrelas giravam em torno de um fogo central. Porém, a concepção de um outro planeta girar em torno do Sol é de facto devida a Heraclides. No entanto, parece haver sido o astrónomo grego Aristarco de Samos (~320-~250) o primeiro a formular um modelo heliocêntrico para o Universo. Tentando conciliar as hipóteses de Eudoxo (geocentrismo) e Aristarco (heliocentrismo) a respeito da natureza do Universo, o matemático grego Apolônio de Perga (~261-~190)

O modelo de esferas homocêntricas também foi examinado pelo astrônomo grego Hiparco de Nicéia (~190-~120), porém, sob dois pontos de vista inteiramente novos. Primeiro, o da excentricidade. Assim, para poder explicar várias irregularidades observadas nos movimentos do Sol e da Lua (principalmente o relacionado com a variação da velocidade do Sol), o descobridor da *precessão dos equinócios* formulou a hipótese de que o centro das esferas desses «planetas» e, conseqüentemente, o centro de sua órbita circular não coincidia com o centro geométrico da Terra; situava-se um pouco mais deslocado. O segundo aspecto novo introduzido por Hiparco foi a adoção do sistema epiciclo-deferente. Este sistema, inicialmente proposto por Apolônio de Perga, é constituído por um círculo menor (epiciclo) cujo centro se desloca ao longo de um círculo maior (deferente). Pois bem, a fim de explicar os dois principais movimentos dos planetas Mercúrio e Vênus, isto é, o movimento sinódico segundo o qual esses planetas retornam sempre à mesma posição em relação ao Sol e à Terra, e o movimento zodiacal em torno da Terra, Hiparco formulou então a hipótese de que aqueles planetas descrevem um epiciclo (cujo raio é dado pelo seu máximo afastamento do Sol) em seu movimento sinódico, e o período zodiacal desses mesmos planetas é o tempo que o centro de seus correspondentes epiciclos levam para descrever o respectivo deferente. O raio deste, por sua vez, é a distância entre o centro da Terra e o centro do epiciclo que lhe corresponde, passando, contudo, pelo centro do Sol ⁽⁸⁾.

Esse modelo planetário constituído pelo sistema epiciclo-deferente de Apolônio-Hiparco foi retomado e sistematizado pelo astrônomo grego Cláudio Ptolomeu (85-165) que o estendeu aos demais planetas. Porém, o tamanho relativo dos círculos que compõem o sistema epiciclo-deferente e seus respectivos períodos, foram escolhidos de modo a concordarem com os movimentos observados dos planetas. Por exemplo, para explicar a razão pela qual os planetas Mercúrio e Vênus aparecem sempre junto ao Sol, Ptolomeu admitiu para seus deferentes o mesmo período do deferente do

Sol. Como Marte, Júpiter e Saturno não têm o mesmo período zodiacal solar ⁽⁹⁾ (fato esse conhecido desde Eudoxo), Ptolomeu teve de considerar deferentes para tais planetas cujos raios não passassem pelo centro do Sol. Todavia, não eram essas apenas as irregularidades dos movimentos planetários. Havia, também, o fato das órbitas dos planetas não serem perfeitamente circulares, o que provocava uma variação na velocidade desses astros celestes. Para eliminar tal anomalia, Ptolomeu lançou mão do mesmo recurso de Hiparco, qual seja, o da excentricidade. Assim o centro do deferente de cada planeta já não coincidia com o da Terra, mas sim, se movia num pequeno círculo — o «excêntrico móvel» — nas proximidades do centro da Terra. Esse modelo planetário, bem como o registro das observações dos movimentos das estrelas, feito pelos astrônomos que lhe antecederam, e mais a descrição de instrumentos usados em observações astronômicas, foram reunidos por Ptolomeu em uma obra composta de treze volumes, traduzida pelos árabes com o nome de *Almagest*, obra essa que dominou o pensamento da Astronomia por aproximadamente 1500 anos.

Como o modelo de Ptolomeu não explicava todos os movimentos dos planetas, houve a necessidade de aperfeiçoamento com a introdução de mais epiciclos. Isso o complicou de tal maneira que se tornou motivo de críticas, primeiro do Rei Afonso X de Castela (1221-1284) e, posteriormente, pelo poeta inglês

concebeu os planetas girando em torno do Sol, e este, por sua vez, girando em torno da Terra fixa, antecipando-se, portanto, de dezoito séculos ao astrônomo dinamarquês Tycho Brahe (1546-1601).

⁽⁸⁾ Aparentemente os modelos de Heraclides e de Hiparco são idênticos. Todavia, há uma diferença fundamental entre esses dois modelos: no de Heraclides o centro do epiciclo é o Sol; no de Hiparco, esse centro é puramente geométrico, não existindo fisicamente. (Cf. FARRINGTON, B. 1961. *A Ciência Grega*, IBRASA, tradução de João Cunha de Andrade e Lívio Xavier; KOESTLER, A. 1961. *Os Sonâmbulos*, IBRASA, tradução de Alberto Denis).

⁽⁹⁾ Tomando o período zodiacal do Sol como um ano, o de Marte vale aproximadamente dois, o de Júpiter em torno de doze, e o de Saturno, por volta de trinta anos.

John Milton (1608-1674), em um dos versos de seu famoso *Paraíso Perdido* («Paradise Lost») [31]. E mais ainda, apesar desse modelo explicar os movimentos retrógrados dos planetas em geral, já que a epíclíde é uma curva que apresenta cúspides (laços), havia, entretanto, uma dificuldade fundamental com relação aos movimentos retrógrados de alguns planetas em particular. Por exemplo, o movimento retrógrado de Marte só ocorre quando está em oposição, isto é, quando está no lado oposto da Terra em relação ao Sol. Já o de Mercúrio ou o de Vênus, por sua vez, só ocorrem quando estão em conjunção, isto é, quando se encontram entre a Terra e o Sol. Tais dificuldades foram sanadas pelo modelo heliocêntrico do astrônomo polonês Nicolau Copérnico (1474-1543), que retornou deste modo à concepção de Aristarco de Samos.

No modelo de Copérnico, o movimento retrógrado aparente dos planetas é explicado de maneira bem simples através das velocidades relativas dos planetas em relação à velocidade da Terra. Com efeito, os planetas internos (Mercúrio e Vênus) viajam mais rapidamente que a Terra, enquanto os externos (Marte, por exemplo) mais lentamente. Em consequência disso, tais planetas, quando vistos da Terra contra o céu de estrelas «fixas» ⁽¹⁰⁾, reproduzem aquelas anomalias observadas em seus movimentos retrógrados [32]. Muito embora Copérnico não tivesse necessidade de introduzir epíclis em seu modelo para explicar esses movimentos retrógrados, ele, todavia, teve de utilizá-la na tentativa de justificar outros movimentos planetários observados, principalmente os relacionados com a Terra. Dessa maneira, o modelo copernicano apresentado no livro *Da Revolução dos Corpos Celestes*, editado no mesmo ano de sua morte (1543), era tão complicado quanto o de Ptolomeu, porém, com um número menor de epíclis.

O modelo de epíclis foi retomado por Tycho Brahe, conforme já vimos (nota (7)), mas com uma outra concepção, qual seja, a de epíclis com centro no Sol. E este, juntamente com a esfera de estrelas fixas e com a Lua, girava em torno da Terra. Contudo, tal modelo

não era original, visto que Apolônio de Perga já tivera pensado em tal hipótese na Grécia Antiga, conforme já nos referimos anteriormente. Apesar do fracasso desse seu modelo, Tycho Brahe notabilizou-se pelas precisas observações que realizou, à vista desarmada, sobre as posições de estrelas e de planetas, observações essas que permitiram ao seu aluno, o astrônomo alemão Johannes Kepler (1571-1630) encontrar as famosas leis que regem os movimentos dos planetas em torno do Sol.

À semelhança dos modelos planetários de esferas homocêntricas, os modelos de epíclis (quer geostáticos, quer heliostáticos) são também idealistas na medida em que admitem a *idéia* de que os estranhos movimentos dos planetas no céu *devem* ser exprimidos por combinações de círculos. Tais modelos partem do dogma do movimento circular em Astronomia, dogma este introduzido por Aristóteles a partir do pensamento do filósofo grego Platão (~428-348) para quem os movimentos dos planetas deveriam ser sempre reduzidos a movimentos circulares, por serem estes perfeitos [33]. Contudo, esse dogma da circularidade é finalmente rompido por Kepler, através de seu modelo segundo o qual as órbitas dos planetas em torno do Sol são elípticas e não mais circulares. É sabido, no entanto, que Kepler antes de chegar à forma elíptica para as órbitas planetárias tentou enquadrá-las, inicialmente entre figuras geométricas planas (triângulo, quadrado, pentágono, etc.) e depois, entre os sólidos perfeitos regulares pitagóricos. Não obtendo êxito nessa tentativa, já que não havia concordância

⁽¹⁰⁾ Em seu modelo, Copérnico continuou admitindo um céu de estrelas fixas, já que, com os instrumentos disponíveis à sua época, não conseguiu medir a *paralaxe* (fenômeno pelo qual um objeto aparece deslocado quando observado de duas posições) das estrelas, tendo por base a órbita da Terra em torno do Sol. Resultado idêntico foi obtido por Tycho Brahe, razão pela qual admitiu a imobilidade da Terra. É oportuno observar que a primeira paralaxe só foi medida em 1838 pelo astrônomo alemão Friedrich Wilhelm Bessel (1784-1846), relativa à estrela 61 Cygni, da constelação de Cisne. (Cf. SEDGWICK, W. T., TYLER, H. W. e BIGELOW, R. P., 1950. *História da Ciência*. Editora Globo; tradução de Loenel Vallandro).

entre as proporções de seu modelo e as decorrentes do modelo copernicano, partiu então Kepler para a análise das observações de Tycho Brahe, principalmente as relacionadas com a órbita de Marte. Foi então que, depois de testar várias ovas, ele finalmente chegou à elipse [34]. A nosso ver, essa atitude de Kepler é materialista na medida em que parte de observações reais sobre os movimentos dos planetas e, através do mecanismo de tentativas e erros, vai ajustando aquelas observações com figuras geométricas conhecidas até chegar à elipse sem, contudo, partir de nenhuma preferência sobre esta ou aquela figura geométrica. Ele deteve-se na elipse por ser a que melhor se ajustou às observações astronômicas ⁽¹¹⁾. Esse mesmo procedimento materialista o levou à descoberta de suas outras duas leis que, com essa relativa às órbitas planetárias, completam o seu modelo planetário ⁽¹²⁾.

Não obstante essa postura materialista de Kepler com relação à cinemática das órbitas planetárias, o mesmo não se pode dizer de sua postura ao tentar estudar a dinâmica do movimento planetário. No início imaginou que cada planeta, em seu movimento orbital em torno do Sol, era dirigido por um anjo, o «angelus rector» [35]. Depois, influenciado pela obra do físico inglês William Gilbert (1544-1603) que havia mostrado ser a Terra um imenso ímã, supôs que o Sol exercia uma influência magnética sobre os planetas, influenciando essa denominada por ele de *vis motrix*. Aparentemente, parece ser esta uma atitude materialista, no entanto, não o é, pois para Kepler, o Sol representava Deus, o Deus visível do Universo, daí porque o astro que nos ilumina deveria ser então o centro do sistema planetário [36]. O problema da dinâmica das órbitas planetárias foi finalmente resolvido pelo físico e matemático inglês Sir Isaac Newton (1642-1727), ao formular a célebre *lei da gravitação universal* (1666): — «Dois corpos materiais quaisquer no Universo se atraem mutuamente com uma força directamente proporcional ao produto de suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre seus centros e cuja direcção é

a da recta que une os mesmos. É oportuno salientar que com essa hipótese e mais a descoberta do *método das fluxões* (1671) ⁽¹³⁾, pôde Newton demonstrar matematicamente as três leis de Kepler.

A concepção da gravitação universal newtoniana segundo a qual os corpos no Universo se atraem com uma força de acção à distância e que se propaga instantaneamente, prevaleceu até o início de nosso século XX, quando então foi substituída pela concepção de Einstein. Assim, em 1916, depois de lançar as bases da Teoria da Relatividade Geral e aplicar a mesma à gravitação universal, Einstein mostrou que a atração entre os corpos não era devida a uma força que agia à distância, como afirmara Newton, e sim devida à curvatura do espaço provocada pela presença da matéria [37]. Por exemplo, quando um corpo «cai» na Terra, ele não é atraído pela força de gravitação terrestre, e sim, ele se desloca, sem acção de nenhuma força, na curvatura do espaço provocada pela presença de nosso planeta. A partir dessa concepção einsteiniana, uma série de modelos cosmológicos foram então sendo propostos para explicar a evolução de nosso Universo. Dentre esses, o que hoje tem maior aceitação é o chamado *modelo do «big bang»*, segundo o qual o Universo teria evoluído a partir de uma

⁽¹¹⁾ Provavelmente os materialistas ortodoxos não aceitarão a tese materialista para essa postura de Kepler com relação à forma elíptica das órbitas planetárias, por ser fato conhecido (Cf. Koestler, *op. cit.*) que Kepler teve de atribuir a cada esfera planetária uma espessura finita, na qual deveria se ajustar a elipse orbital. Assim, dirão aqueles materialistas que Kepler ainda estava preso à idéia da esfera divina.

⁽¹²⁾ As três leis de Kepler são: 1.^a *Lei, das órbitas* (1609) — «As órbitas planetárias são elipses nas quais o Sol ocupa um dos focos»; 2.^a *Lei, das áreas* (1603) — «As áreas descritas pelos raios vetores que unem o centro do Sol ao centro do planeta são proporcionais aos tempos empregados em descrevê-las»; 3.^a *Lei, dos períodos* (1619) — «Os quadrados dos tempos de revolução de quaisquer dois planetas ao redor do Sol são proporcionais aos cubos de suas distâncias médias ao Sol».

⁽¹³⁾ O *método das fluxões* inventado por Newton é a gênese do hoje conhecido Cálculo Diferencial e Integral.

grande explosão, e encontra-se em expansão⁽¹⁴⁾. Ao concluir este exemplo sobre aspectos materialistas e/ou idealistas sobre as cosmologias, diríamos que, a nosso ver, as duas concepções sobre a dinâmica do Universo, a newtoniana e a einsteiniana são materialistas⁽¹⁵⁾ na medida em que partem da existência do Universo e, a

(14) A concepção de um Universo em expansão fora proposta pelo astrônomo holandês Willem de Sitter (1872-1934) em 1917, ao examinar as equações de Einstein da Relatividade Geral, e novamente aventada pelo matemático soviético Alexander A. Friedman (1888-1925) em 1922. Evidências experimentais de tal concepção foram cada vez mais se tornando realidade através das observações feitas pelo astrônomo norte-americano Edwin Powell Hubble (1889-1953), desde sua tese de doutoramento, em 1920, até a enunciação, em 1929, de sua famosa lei: — «A velocidade com que uma galáxia se afasta está directamente relacionada à sua distância de nós». Essa concepção de universo em expansão foi retomada pelo astrônomo belga, o abade Georges Edouard Lemaître (1894-1966) em 1927, quando formulou a hipótese de que a fuga das galáxias observadas por Hubble devia-se à explosão de um *átomo primordial* que conteria toda a matéria do Universo. Como esse *ovo cósmico* formou-se e há quanto tempo ocorreu essa explosão, passou a ser objeto de estudo pelos físicos e astrônomos, desde que o físico e astrônomo inglês Sir Arthur Stanley Eddington (1882-1944) passou a defender tal concepção. Assim é que George Gamow, em 1940, chegou a prever a existência de uma radiação de fundo decorrente do «big-bang» (nome cunhado por ele). Em 1953, o próprio Gamow chegou a calcular uma temperatura de cerca de 7 K para essa radiação. Antes disso, na década de 1940, Gamow e dois de seus colaboradores, R. A. Alpher e R. C. Herman, formularam uma teoria da formação de elementos do Universo (nucleossíntese) a partir do «big-bang». Em 1948, Alpher e Herman chegaram a calcular a temperatura dessa radiação de fundo e encontraram o valor da ordem de 5 K. Cálculos semelhantes a esse foram realizados em 1964 por Ya. B. Zeldovich, na União Soviética, e por Fred Hoyle e R. J. Tyler, na Inglaterra. É oportuno salientar que essa radiação de fundo foi detectada pelos radioastrônomos, o alemão Arno A. Penzias e o norte-americano Robert Woodrow Wilson, em 1964, acidentalmente, por ocasião de suas experiências relacionadas com a medida da intensidade das microondas emitidas por nossa galáxia em latitudes fora do plano da Vida Láctea. (Cf. Weonberg, *op. cit.*).

(15) Provavelmente os idealistas ortodoxos dirão que a teoria da gravitação newtoniana é idealista, já que Newton admitia que «Deus criara, no início, as

partículas materiais, as forças entre elas e as leis fundamentais do movimento», segundo nos fala Fritjof Capra em *O Tao da Física* (Cultrix, 1986). Ainda esses mesmos idealistas dirão que a teoria da gravitação einsteiniana é também idealista, já que ela foi formulada a partir da Teoria da Relatividade Geral de Einstein que, como sabemos, parte da idéia de equivalência entre campo de força e campo de aceleração. Por outro lado, os materialistas ortodoxos consideram a Teoria do Big-Bang como sendo idealista, pois que a mesma parte da idéia judaico-cristã de que o Universo teve um começo. Tais materialistas, no entanto, são partidários da *Teoria do Estado Estacionário*, formulada a partir de 1948, por Fred Hoyle e, independentemente, por Herman Bondi e Thomas Gold, e segundo a qual a matéria é continuamente criada em toda a região do Universo e em todo o instante, isto é, a matéria se cria por si mesma à medida que o Universo se expande. Contudo, a descoberta da radiação de fundo detectada por Penzias e Wilson, em 1964, a que nós nos referimos na nota anterior, tornou insustentável a Teoria do Estado Estacionário. Porém, a dificuldade da Teoria do Big-Bang com relação a três questões básicas, a saber: o que aconteceu antes do instante inicial, a natureza da própria singularidade, e a origem das galáxias, fez com que novas cosmologias alternativas fossem tentadas. Hoje existem duas teorias que tentam contornar as dificuldades apresentadas pela Teoria do Big-Bang. A primeira é a do *modelo inflacionário* formulada inicialmente por Alan H. Guth, em 1980, e que representa uma síntese entre a Teoria do Big-Bang e a Teoria da Grande Unificação das Partículas Elementares. Tal modelo explica os «paradoxos» do modelo do Big-Bang e permite compreender melhor a formação das galáxias. (Cf. BOUQUET, A. 1986. *L'inflation de l'Univers. La Recherche*, 176: 448). A segunda é a do *modelo do universo eterno* formulada por Mário Novello, em 1982, segundo o qual a matéria continua sendo criada no Universo, através da flutuação de imensos vazios no espaço-tempo, os chamados *núcleos atrasados de matéria* ou *buracos brancos*, e que, em vista disso, o Universo pode expandir-se e contrair-se entre o infinito passado e o infinito futuro, sem, contudo, passar pelo instante da criação (Cf. NOVELLO, M. *Cosmos et Contexte*, França, no prelo). Enquanto existe uma interpretação materialista para o modelo inflacionário do Universo, qual seja, a de que não houve um «big-bang», mas que o Universo nasceu do *vácuo* por força de flutuações quânticas e evolui estritamente de acordo com as leis da Física, o modelo de um *universo viscoso* de Novello é basicamente materialista, pois não necessita do instante da criação. Um idealista, por fim, diria: — «Mas, o fato de admitir que as leis da Física valem para todo o Universo, ou mesmo a aceitação de que existem imensos vazios no Universo, não é um ideal?».

partir disso, procuram descobrir as leis que governam a sua dinâmica.

Ao concluirmos este trabalho, queremos observar que as análises de outras teorias físicas intencionalmente por nós não abordadas, mostrarão que sempre podemos destacar aspectos materialistas e/ou idealistas nas mesmas, e que, portanto, essa questão é completamente inócua para o trabalho do físico. Por fim, queremos dizer uma palavra a respeito da razão pela qual não incluímos as teorias da Mecânica Quântica como um dos exemplos escolhidos para analisar o materialismo e o idealismo em Física, já que, conforme frisamos no início deste trabalho, foi a partir da interpretação de Copenhague sobre a Mecânica Quântica de Born-Heisenberg-Schrödinger, que essa questão surgiu em Física. Para nós, a discussão sobre a Mecânica Quântica se relaciona mais, e principalmente, com o determinismo e o indeterminismo em Física, assunto que abordaremos futuramente.

REFERÊNCIAS

- [1] POLITZER, G. — *Princípios Fundamentais de Filosofia* (1967), Editora Fulgor; tradução de João Cunha Andrade.
- [2] O conceito de materialismo é ambíguo. Alguns filósofos tomam-no como realismo, a exemplo de Max Jammer (*The Philosophy of Quantum Mechanics*. John Wiley & Sons, 1974). Já para Politzer (*op. cit.*) o real apresenta um aspecto material e um aspecto ideal.
- [3] Ver os comentários sobre os trabalhos de Kemble em Jammer (*op. cit.*).
- [4] HESSEN, J. — *Teoria do Conhecimento* (1973), coleção Studium, n.º 67. Arménio Amado, Editor; tradução de António Correia.
- [5] LEFEBVRE, H. — *Lógica Formal, Lógica Dialéctica* (1983), Civilização Brasileira/DIFEL; tradução de Carlos Nelson Coutinho.
- [6] BUNGE, M. — *Philosophy of Physics* (1973), D. Reidel Publishing Co. (há uma edição em português, da Edições 70, Lisboa, s/d.)
- [7] HÜBNER, K. — *Über die Philosophie der Wirklichkeit in der Quantenmechanik, Philosophia Naturalis*, 14, 3-24 (1973). (Citado por Jammer, *op. cit.*).
- [8] ALMEIDA, E. S. — *Teoria Atômica Grega*, *Rev. Ens. Fis.*, 5, 53 (1983).
- [9] BASSALO, J. M. F. — *Do átomo-filosófico de Leucipo ao átomo-científico de Dalton*, *Rev. Ens. Fis.*, 2, 70 (1980).
- [10] As citações dos filósofos pré-socráticos encontram-se no livro *Os Filósofos Pré-socráticos*, organizado por GERD A. BORNHEIM editado pela Cultrix (1977).
- [11] PAPAVERO, N. e BALSÀ, J. — *Introdução Histórica e Epistemológica à Biologia Comparada, com especial referência à Biogeografia, I. Do Gênesis ao fim do Império Romano do Ocidente* (1986), Biótica-Produtos Técnicos-Científicos e Agroindustriais Ltda. e Sociedade Brasileira de Zoologia. Belo Horizonte.
- [12] ROCHA E SILVA, M. O. — *A Evolução do Pensamento Científico* (1972), Hucitec Ltda.
- [13] MEHRA, J. and RECHENBERG, H. — *The Historical Development of Quantum Theory*, Volume I, Part. 1 (1982), Springer-Verlag.
- [14] NUSSENZVEIG, H. M. — *Curso de Física Básica 2; Fluidos, Oscilações, Ondas e Calor* (1983), Editora Edgard Blücher, Ltda.
- [15] Para a descrição desse modelo, ver Mehra e Rechenberg, *op. cit.*
- [16] Gustav Theodor Fechner (1801-1887).
- [17] Wilhelm Eduard Weber (1804-1891).
- [18] Eugen Goldstein (1850-1931).
- [19] Para uma descrição desses modelos atômicos desenvolvidos no começo do século XX, bem como do modelo de Ernest Rutherford (1871-1937), e de Niels Henrik David Bohr (1885-1963), ver Mehra e Rechenberg, *op. cit.*
- [20] Cf. Politzer, *op. cit.*
- [21] Cf. Politzer, *op. cit.*
- [22] BASSALO, J. M. F. — *Os primeiros quarks*. *Rev. Ens. Fis.*, 3, 13 (1981).
- [23] BASSALO, J. M. F. — *As mais recentes partículas: glueons, charmônia, bottomonium, toponium e tau*. *Rev. Ens. Fis.*, 4, 85 (1982).
- [24] Sobre as experiências que procuram detectar os quarks livremente, ver a referência 23.
- [26] 1. MOISÉS 1. 1. *Genesis*,
- [28] HOUTGAST, J. — *Eclipse, Occultation and Transit*. *Encyclopaedia Britannica, Macropædia*, Vol. 6 (1978).
- [29] ASIMOV, I. — *Os Gênios da Humanidade* (1974), Bloch Editores; tradução de José Reis.
- [30] Essa citação encontra-se em *Os Sete Dias da Criação, de F. L. Boschike*. (Livraria Bertrand, 1976; tradução de Marina Guvpari).
- [31] O rei Afonso X teria dito: — «Se o Todo-Poderoso me tivesse consultado antes, de iniciar a Criação, eu Lhe houvera recomendado coisa muito mais simples». (Cf. Koeßler, *op. cit.*). A referência de Milton aos ciclos, epiciclos e excêntricos é feita no Livro VIII. (Cf. *Great Books of the Western World*, Vol. 32. JOHN MILTON, 1971. *Encyclopaedia Britannica, INC.*)
- [32] COHEN, I. B. — *O Nascimento de uma Nova Física* (1967), Edart, S. P.; tradução de Gilberto de Andrade e Silva.

- [33] PLATÃO — *Timeu*. (Citado por Koestler, *op. cit.*)
[34] Para uma descrição do trabalho de Kepler, ver Koestler, *op. cit.*
[35] Cf. Lefebvre, *op. cit.*
[36] KOYRÉ, A. — *Estudos da História do Pensamento Científico*. (1982), Editora da Universi-

dade de Brasília e Forense Universitária, tradução de Márcio Ramalho.

- [37] SILK, J. — *O Big Bang: a origem do Universo* (1985), Editora Universidade de Brasília; tradução de Fernando Dídimo Pereira Barbosa Vieira e Ronaldo Rogério de Freitas Mourão.

1.º ENCONTRO REGIONAL DE LISBOA SOBRE O ENSINO DA FÍSICA

Vai decorrer nos dias 10, 11 e 12 de Fevereiro de 1988 o 1.º Encontro Regional de Lisboa sobre o Ensino da Física, tendo por tema central unificador «Que formação em Física para o Homem do futuro?».

As linhas orientadoras do Encontro serão:

1 — Reflexão e debate sobre a concepção de um novo ensino da Física, a nível da escolaridade obrigatória e a nível complementar.

2 — Análise das dificuldades actuais no ensino da Física (conteúdos, métodos, meios). Reflexão e procura de resolução dessas dificuldades e divulgação de trabalhos efectuados nesse sentido, no sistema actual.

Todas as informações podem ser obtidas junto da Comissão Organizadora do Encontro — Delegação Regional de Lisboa da Sociedade Portuguesa de Física, Avenida da República, 37-4.º — 1000 Lisboa — Telef. 773251.

SOLARTRON

Schlumberger

EQUIPAMENTOS PARA INVESTIGAÇÃO E INDÚSTRIA

- Multimetros / Voltímetros Digitais
- Aquisição de dados
- Análise de Resposta em Frequência
- Análise de Vibrações

CONSULTORIA E ASSISTÊNCIA TÉCNICA

Peça-nos informações detalhadas • Telef. 691116 / 667437 • Telex 26250



M. T. BRANDÃO, LDA. • Praça Pedro Nunes, 94 - Sala 3 • 4000 PORTO — Portugal

A Energia ao Serviço da Humanidade (*)

JOSIP KLECZEK

Astronomical Institute of the Academy of Sciences, Prag, Czechoslovakia

Desde que nascemos até ao fim dos nossos dias, vivemos e estamos ligados pela gravitação a um dos nove planetas que giram em volta do Sol, isto é, em torno de uma dentre 150 biliões de estrelas da nossa Galáxia, que por sua vez é uma dentre centenas de milhar de galáxias que constituem uma das muitas super-galáxias do Universo. O nosso artigo anterior, sobre a Energia no Universo [1], era muito geral pois tratava a energia do Universo apenas como um todo. Do ponto de vista prático estamos porém mais interessados na *energia* e suas *formas* neste canto do Universo em que vivemos — a «nossa» Terra.

A Energia na Terra

A energia altera a sua forma um pouco como um actor no palco, não podendo ser destruída nem criada a partir do nada. Cada *quantum* de energia tem uma longa história que se estende até aos confins do passado mais remoto — justamente aos *primeiros instantes* do nosso Universo. A energia passa da componente *partícula* do Universo para a sua componente *fotónica* e vice-versa; pode ser transferida de um corpo para outro, mas o seu fluxo nunca pode parar.

Da nebulosa proto-solar o nosso planeta recebeu energia cinética (de translação e de rotação), energia nuclear (núcleos radioactivos, urânio para os reactores nucleares, hidrogénio para os reactores termonucleares que poderão construir-se no futuro), e também alguma energia gravitacional (que se transformou em calor com a progressiva contracção da Terra, e foi radiada para o exterior). O modo mais eficaz de extrair energia da matéria — através da aniquilação da matéria ou através da gravitação — está aqui praticamente ausente, uma vez que não há antimatéria na Terra e as forças gravíticas nunca poderão ser muito eficazes

para libertar energia, devido à reduzida massa do nosso planeta. A energia gravítica presente nas nossas barragens e albufeiras é apenas, e só, uma transformação da energia solar.

As fontes de energia próprias da Terra são o calor geotérmico e a energia de rotação da Terra. Para extrair algo significativo da energia nuclear armazenada no urânio e no hidrogénio, falta fazer ainda muita investigação, falta muita inteligência e, também, avultados investimentos adicionais. Se a Terra estivesse apenas dependente das suas fontes intrínsecas de energia, seria apenas um corpo gigantesco gelado, desértico, escuro e morto.

O inverso é que é verdadeiro: os astronautas e cosmonautas relatam que o nosso planeta azul é o corpo mais belo do Universo observável. A sua beleza decorre do intenso fluxo de fotões solares incidentes na Terra desde o seu nascimento, isto é, há mais de quatro biliões e meio de anos. A energia dos fotões vindos do Sol ilumina e aquece a Terra, transforma-se em energia *cinética* das correntes oceânicas, dos ventos na atmosfera e das ondas à superfície das águas; em energia *potencial* das núvens e dos rios, em energia *química* de todos os organismos na biosfera; cobre ainda a quase totalidade das necessidades energéticas da sociedade moderna, na maior parte na sua forma *fóssil*, como no carvão, no petróleo e no gás natural.

No Quadro I pretende-se sumariar todas as formas de energia existentes na Terra, fazendo a estimativa das respectivas quantidades, de quanto poderia vir a ser usado na prática para satisfazer as nossas necessidades energéticas, indicando ao mesmo tempo a energia que usamos actualmente, e qual a sua origem.

(*) Trabalho apresentado na Escola de Verão da União Astronómica Internacional para Jovens Astrónomos, Espinho, Setembro 1986; tradução de J. Bessa Sousa.

Quadro I — Energia no planeta Terra. Suas formas, quantidades existentes, utilizáveis e utilizadas; suas origens físicas.

Energia	Forma na Terra	Exemplos; aplicações	Quantidade (Energia ou potência existente)	Utilizável	Usada presentemente	Origem
Cinética	Rotação terrestre	Marés; centrais de marés	2×10^{29} J	$\ll 1$ TW	Insignificante	Turbulência da nebulosa protosolar
	Ventos	Moinhos de vento	10^{20} J	1–10 TW	Pouco	Energia solar
	Rios	Centrais e Geradores hidráulicos	9 TW	5 TW	0,9 TW	
	Ondas	Geradores experimentais	> 1 TW	$\ll 1$ TW	—	
Calor	Da Litosfera	Bombas de calor; en. geotérmica	9×10^4 TW	~ 1 TW	poucos GW	Energia solar, radioactivi- dade
	Da Hidrosfera	OTEC (usa gradientes de temperatura nos oceanos) (a)	100 TW	poucos TW	em desenvolvimento	Energia solar
Química	Biomassa	Combustíveis fósseis	$3,4 \times 10^{23}$ J	3×10^{22} J	7 TW	Energia solar
		Biosfera contemporânea	90 TW	10 TW	≤ 1 TW	Energia solar
Nuclear	Material de fissão (U, Th)	Centrais nucleares	Bilhões de tonela- das (b)	5×10^6 toneladas	0,09 TW 10^{12} J/kg 6×10^{13} J/kg (nos reactores de realimentação)	Explosões Supernova
	Cobustível termonuclear (D, T) (c)	Fusão nuclear (ainda na fase experimental)	«Combustão» dos oceanos	> 100 TW	> 100 TW	Estádio experimental
Fotões	Radiação solar incidente na Terra	A maior parte da energia na Terra	180 000 TW	> 100 TW	Use directo; em desenvolvimento	Energia solar
			(120 000 TW transformados)	20 TW	Use indirecto: vento, água ou biomassa	

Obs.: (a) OTEC significa Oceanic Thermal Energy Conversion; trata-se de uma máquina térmica de dimensões gigantescas que usa a diferença de temperatura entre a superfície e as águas profundas dos oceanos.

(b) Em cada tonelada de minério natural de boa qualidade há cerca de 2 g de U e 3 g de Th.

(c) Isótopos do hidrogénio: Deutério (D) e Trítio (T).

Como referência, mencionemos o consumo energético total da Humanidade em cada segundo: cerca de 8 TW, isto é, 8 bilhões de KW. Como há cerca de 4 bilhões de habitantes da Terra, isto significa a utilização média, em cada segundo, de 2 KW por cada um de nós ⁽¹⁾. Neste cenário, a importância da energia solar é evidente.

A energia e o homem

Para viver, o nosso organismo tem que receber energia, cerca de 2000-3000 kcal por dia, isto é, $\sim 8 \times 10^6$ J- 12×10^6 J por dia. Como há 86 400 segundos num dia, o nosso consumo médio de energia por segundo é cerca de 100-150 W, comparável ao consumo energético de uma lâmpada eléctrica. Nós recebemos a energia sob a forma de alimento, isto é, como energia química com origem na acção solar. O nosso organismo converte esta energia química em calor, em trabalho produzido por uma rede diversificadíssima de músculos, e parte dela é ainda utilizada para manter um elevado número de reacções químicas no nosso organismo. Do ponto de vista energético e material, o nosso organismo — e para o efeito qualquer organismo vivo em geral — constitui um sistema aberto: recebe do exterior *matéria* com *energia* (isto é, energia química), usa uma e outra, devolvendo-as ao exterior sob uma forma degradada.

A totalidade da população humana constitui um sistema aberto. Nas fábricas, transportes, agricultura e nas nossas casas, consumimos juntos, em cada segundo, cerca de 8 TW ou seja 2 KW per capita. Por outras palavras, utilizamos em média cerca de 16 vezes mais energia para o nosso bem-estar e conforto que o nosso próprio organismo! É útil referir que não só os nossos alimentos como a maioria das nossas fontes energéticas são, em essência, energia solar transformada.

A sociedade humana é um subsistema da biosfera terrestre. A porta de entrada da energia solar é a clorofila das plantas verdes, através do processo de fotossíntese. Trata-se de uma transformação da radiação solar (isto é, da energia dos fótons vindos do Sol) em energia

química, mais precisamente, em *energia de ligação* das moléculas. Da quantidade total de energia solar incidente em cada segundo no nosso planeta (isto é, 180 000 TW), apenas cerca de meio milionésimo entra, através da fotossíntese, na biosfera, isto é, cerca de 90 000 TW. Esta potência é cerca de uma ordem de grandeza superior às necessidades energéticas actuais da Humanidade em cada segundo. Apenas 1/10 do caudal energético que passa pela biosfera actual seria suficiente para cobrir todas as necessidades de energia da totalidade dos seres humanos existentes no nosso planeta. Neste sentido falamos em biomassa, biogás, bioconversão, etc. Por outro lado, o fluxo energético através da biosfera é renovável e praticamente inesgotável; a biosfera está a ser continuamente alimentada pelo processo da fotossíntese, com um caudal fotónico correspondente, em termos de energia, à passagem em cada segundo de 90 TW.

A energia que a Humanidade dirige, em cada segundo, para a sua indústria, transporte de mercadorias e passageiros, agricultura e consumos domésticos, situa-se hoje em 8 TW de potência *térmica* (1 TW de potência *eléctrica* corresponde aqui a 3 TW de potência *térmica*, uma vez que o rendimento da conversão do calor em electricidade é apenas de 1/3) ⁽²⁾. O fluxo de energia controlado pela Humanidade está, contudo, a crescer continuamente. Por um lado a população da Terra tem vindo a aumentar sem interrupção; por outro lado, tem-se verificado que o bem-estar e a qualidade de vida em cada país têm sido directamente proporcionais ao consumo energético dos seus cidadãos, per capita. Isto é o que dão as estatísticas da ONU. Por isso, não tem cessado de crescer, ao longo dos anos, a procura de mais energia e as pressões contínuas sobre as fontes de energia existentes.

(1) Mais precisamente, em cada segundo usamos 2 KJ de energia (*N. do tradutor*).

(2) A energia total conserva-se, obviamente; quando, numa máquina térmica, sai uma quantidade de calor Q_1 da fonte quente, só uma parte (Q_1-Q_2) é convertível em electricidade, sendo Q_2 a quantidade de calor cedida à fonte fria (*N. do tradutor*).

A contrastar com o incessante aumento da utilização da energia está o facto de as reservas mais utilizadas — carvão, petróleo, gás natural — serem extremamente limitadas. Estas reservas seriam sobretudo muito mais úteis para a indústria química do que «gastas» na produção de certas formas de energia. Procuram-se por isso novas fontes energéticas, tornando-se claro, pela simples observação do quadro I, que a energia nuclear poderia cobrir todas as necessidades energéticas futuras da Humanidade: quer sob a forma de energia nuclear libertada pelo homem à superfície da Terra, quer sob a forma de energia termonuclear libertada pelo Sol no seu interior. Ambas são energia nuclear — isto é, energia libertada da matéria pelas forças nucleares — embora haja uma grande diferença na forma como aparece a energia libertada: dos reactores nucleares na Terra nós recebemos calor, enquanto do reactor termonuclear perfeito — como é o Sol — recebemos luz, que é uma forma extremamente nobre de energia (ou de alta qualidade). Analisemos por isso esta energia solar, nas suas propriedades e nos diferentes modos da sua utilização.

Energia solar

O Sol liberta a sua energia através das forças nucleares actuando no plasma de elevada massa volúmica e temperatura (10^2 g cm^{-3} e $13\,000\,000 \text{ K}$, respectivamente) existente na sua região central. Por exemplo, através das colisões, quatro prótons podem acabar por fundir-se a estas temperaturas tão elevadas, formando então uma *partícula alfa*, isto é, um núcleo de hélio. Em cada segundo ocorrem no Sol cerca de 10^{38} destas *fusões nucleares*, cada uma libertando a energia de ligação de uma partícula α — isto é, 28 MeV . A energia total libertada pela conversão de 500 milhões de toneladas de hidrogénio por segundo é de $3,8 \times 10^{26} \text{ J. s}^{-1}$, isto é, corresponde a uma potência de $3,8 \times 10^{26} \text{ W}$. Esta energia por segundo é emitida pela superfície solar para o espaço cósmico, designando-se por *luminosidade solar*. É emitida sob a forma de fotões (sobretudo fotões correspondentes à luz visível),

em todas as direcções do espaço. Apenas uma fracção extremamente pequena desta energia incide, em cada segundo, no distante e pequeno planeta Terra, mais concretamente, cerca de $1,8 \times 10^{17} \text{ W}$ ou $180\,000 \text{ TW}$.

Que acontece com a quantidade de energia, apesar de tudo elevadíssima, que atinge a Terra em cada segundo? Cerca de $1/3$ é constantemente reflectida e difundida de novo para o espaço cósmico, sem ter interferido de modo significativo em qualquer processo ao nível da Terra. Cerca de $2/3$ da energia são conjuntamente absorvidos pela atmosfera (19%) e pelas superfícies sólida e líquida da Terra (47%), convertendo-se em calor. Sem esta conversão o nosso planeta seria um fósil gelado e morto, coberto de ar solidificado e de gelo. Por último, como vimos atrás, cerca de 90 TW da potência recebida do Sol entra na biosfera, através da fotossíntese.

A radiação solar absorvida pelo solo, água, ar e plantas verdes origina movimento, animação e vida (no sentido lato) em tudo o que existe na Terra. Por exemplo, o calor é transformado em energia cinética dos ventos, a uma taxa de cerca de 1000 TW , que é por sua vez transformada em calor através da fricção com a superfície da Terra e através dos fenómenos de turbulência. A energia total contida nos ventos à superfície do nosso globo é cerca de 10^{20} J . O calor é também parcialmente convertido em energia potencial gravítica nas núvens, em energia cinética dos rios, das correntes oceânicas, etc. A conversão energética na biosfera é muito mais complicada apesar de a energia que passa em cada segundo para a biosfera (90 TW) ser menor que, por exemplo, a energia que é convertida, nesse período, nos ventos (da ordem de 10^3 TW).

Quaisquer que sejam as transformações da energia solar na Terra, o seu destino final é sempre o mesmo: *radiação infravermelha* (isto é, radiação térmica) emitida pela Terra para o espaço exterior. O nosso planeta é assim um transformador gigantesco de energia, que degrada em cada segundo $120\,000 \text{ TW}$ de radiação solar (de elevada qualidade, isto é, baixa entropia) em $120\,000 \text{ TW}$ de radiação

infravermelha, com comprimentos de onda máximos de cerca de 10 μm (isto é, energia de baixa qualidade, com uma entropia elevada). A biosfera e o homem em particular, reduzem um pouco a taxa desta degradação, isto é, o aumento generalizado da entropia ⁽³⁾. Para sermos mais específicos, a biosfera em geral e a humanidade em particular não «consomem» energia ⁽⁴⁾, mas apenas a usam, degradando-a nesse processo.

A energética solar

A energia solar, isto é, a energia trazida do Sol pelos fotões, tem de ser convertida noutras formas, formas úteis, como o calor para aquecimento, a electricidade, a energia utilizada nas máquinas, ou a energia química [2-5].

Nos países tropicais há extensas regiões com muita insolação diária e sem importância económica digna de registo em qualquer outro aspecto. Consideremos, por exemplo, 1 milhão de km^2 de deserto, fazendo notar que há cerca de 22 milhões de km^2 de desertos na Terra sem qualquer uso prático até agora. As regiões tropicais recebem em média, e por segundo, cerca de 210 W-420 W por cada m^2 de superfície. Para concretizar, tomemos 250 W por cada m^2 . Com um rendimento de apenas 20 % na transformação da energia solar (fotões) noutra forma de energia (por exemplo, electricidade ou energia química), 1 m^2 produzirá, em cada segundo, 50 W. Em cada segundo, uma superfície de 1 milhão de km^2 — que é menos de 1 % da área total dos desertos — produziria 50 TW, que é mais do que suficiente para cobrir todas as necessidades da Humanidade em matéria de energia.

Porque não nos voltamos então exclusivamente para a energia solar? Porque a concepção e instalação em grande escala do equipamento conversor da radiação solar em electricidade ou energia química não é uma tarefa simples nem fácil. Necessita-se, em particular, de uma colaboração internacional de grande envergadura, envolvendo necessariamente muitos cientistas e técnicos. Levará pelo menos meio século antes que a energia solar

tenha uma utilização em larga escala, como fonte energética dominante. Devemos recordar, a propósito, que a introdução do carvão, do petróleo e do gás natural como fontes energéticas em grande escala também levou um período de tempo comparável, antes de se imporem no domínio da energética.

A energia solar tem naturalmente grande simpatia entre os ecologistas. Enquanto os combustíveis fósseis e nucleares poluem o ambiente, a energia solar não o faz. A energia solar é, não só *pura*, como *grátis*, pois não temos de pagar para a ter no nosso meio. É também uma energia *renovável*, sendo a quantidade de hidrogénio existente no núcleo do Sol suficiente para manter a luminosidade solar nos próximos 10 biliões de anos.

A potência fantástica de 1 800 000 TW vinda do Sol é mais que vinte mil vezes superior às necessidades actuais da Humanidade. Fará sentido falar em crise energética? Em termos fósseis sim, mas eles não constituem a única fonte de energia na Terra! Falar em crise energética no contexto do gigantesco fluxo de energia oferecido pelo Sol acaba por não ter, de facto, qualquer sentido e objectividade. A análise atenta do quadro I coloca na devida perspectiva o potencial energético relativo dos combustíveis fósseis.

⁽³⁾ Como entidades organizadas, os seres vivos representam uma economia de entropia na região por eles ocupada (*N. do tradutor*).

⁽⁴⁾ Não é possível «consumir energia» — isto é, parar a cadeia das suas transformações — pois tal violaria a *lei da conservação da energia*. O termo «consumir energia» é contudo usado, e todos conhecemos sem ambiguidade o seu significado.

BIBLIOGRAFIA

- [1] J. KLECZEK, *Gazeta de Física*, **10**, 47 (1987).
- [2] *Solar Energy*, revista sobre Ciência e Tecnologia da Energia Solar; publicação da Int. Solar Energy Society, Pergamon Press.
- [3] *Natural Resources Forum*; publicação da ONU, Reidel, Dordrecht, Holland.
- [4] IIASA Publications, Int. Institute for Applied System Analysis, Laxenburg, Áustria.
- [5] *Geliotecnika*, revista sobre a utilização da energia solar; Academia das Ciências da USSR (existe tradução para inglês, USA).

A Teoria da Relatividade no Ensino Secundário

I — A Relatividade Restrita

FERNANDO CABRITA

Escola Secundária de Mafra

ANTÓNIO ARMANDO DA COSTA

Centro de Electrodinâmica - Instituto Superior Técnico

O desenvolvimento da Teoria da Relatividade e sua verificação prática implicam algumas alterações aos conceitos tradicionais da Física e a necessidade de os seus princípios serem ensinados aos alunos do Ensino Secundário. O presente artigo desenvolve uma proposta programática no âmbito da Relatividade Restrita.

1. Introdução

O desenvolvimento da Física neste século está indissolavelmente ligado à Teoria da Relatividade (TR). Esta contribuiu para uma compreensão mais profunda de conceitos físicos tradicionais e plasmou toda a prática de investigação em Física. Estes factos transcendiram os próprios limites da Física e da Ciência Matemática que a suporta, para ter variadas implicações culturais e filosóficas. Decorridos 82 anos as bases da Teoria da Relatividade Restrita (TRR) já são hoje tema de divulgação no âmbito de uma mediana cultura geral e a Teoria da Relatividade Geral (TRG) ao dar novos significados aos conceitos de Espaço, Tempo e Movimento, ao fundir a Cosmogonia na Cosmologia, ao atribuir a esta última um estatuto científico e um novo significado aos conceitos de Origens e Evolução do Universo, iniciou uma autêntica revolução científico-filosófica de contornos ainda não totalmente definidos.

Hoje, e por via destas considerações, não é mais admissível que os fundamentos desta Teoria continuem estranhos à generalidade dos jovens, e que o Ensino Secundário (ES) continue a ignorá-la. A Escola, o único centro de formação, mas não mais a única fonte de informação, é um referencial de cultura e deve fornecer aos alunos as bases essenciais de compreensão crítica da formação recebida e da informação que os envolve. Assim a Escola

tem de incentivar e orientar o interesse natural dos alunos das idades correspondentes ao ES pelas importantes descobertas científicas contemporâneas, e.g. a TR, e tem de ser capaz de responder às perguntas que eles naturalmente formulam, não se podendo permitir que procurem respostas fora do seu quadro, pelo perigo óbvio de serem falsas ou de conteúdo científico duvidoso, deformando em vez de formarem. É por isso necessário que a Escola, através do seu ensino veiculado por formadores competentes, tenha capacidade de satisfazer completa, eficaz e cabalmente os destinatários, sempre que possível. As únicas limitações admissíveis serão obviamente, não só o nível etário dos alunos, de que decorre uma cuidada selecção dos conteúdos e o grau de complexidade do tratamento associado, mas também os limites actuais da produção do conhecimento, que não permite dar respostas categóricas e definitivas a todas as questões colocadas.

Para que o ES possa cumprir estes objectivos, a TR deverá ser integrada num leque programático a constituir que reforme os actuais currícula. Sugere-se o leque programático desenvolvido em Cabrita & da Costa (1987b). Porém esta urgência não pode fazer esquecer as debilidades da formação dos actuais professores de Física do ES em TR, a necessitarem de acções de reciclagem. Estas debilidades são, aliás, consequência da pouca importância que tem sido dada à formação em TR

e Astronomia, a nível da Universidade, um erro que urge corrigir. Apesar disso, e atendendo a que a TR tem dois níveis, a TRR poderá ser imediatamente incorporada em tais programas. No que respeita à TRG, embora seja um objectivo a sua introdução, ela deverá ser adiada para uma altura em que os professores estejam em condições de a poderem ministrar, não só através dessas acções de reciclagem para os que já estão no sistema de Ensino, mas também pela introdução obrigatória destes temas nos curricula de formação inicial dos professores. O início e duração de todas estas acções de formação, dependerão obviamente da vontade de implementar estes curricula no ES no mais curto prazo.

Ao pretender ensinar TR, coloca-se imediatamente a questão de saber qual o melhor método. Sabe-se que a TR veio pôr em causa concepções baseadas no senso comum, que ao longo dos últimos séculos se identificou com o pensamento galileano, o qual esteve na origem da Física Clássica. Contudo a filosofia galileana é a mais directamente acessível aos alunos, e por via disso o ensino destas matérias deverá partir desses conceitos através da sua ligação a factos concretos. Proceder-se-á ao teste de coerência da sua interrelação, primeiro no caso dos referenciais não acelerados (TRR), generalizando-se depois a qualquer referencial (TRG). Esta coerência global é destruída porque os conceitos fundamentais e intuitivos entram em contradição entre si, e ainda com os dados da experiência. A procura duma nova coerência global implica uma rotura epistemológica, da qual surge primeiro a TRR e depois a TRG, facto esse que é propiciador duma reflexão sobre os fundamentos da Física, e que deverá acompanhar toda a exposição. Isto significa que será sempre privilegiado o rigor de conceitos e a sua visualização por meios gráficos e/ou geométricos intuitivos.

O ensino dos temas de TR foram testados de forma diversa. A apresentação do tema «A TRR» no âmbito de uma acção extracurricular no ES (Cabrita, 1986), permitiu: testar o interesse dos alunos pelo tema; avaliar a importância da sua divulgação para uma maior compreensão dos fundamentos da Ciência;

comprovar a viabilidade de ajustar sem perda de rigor estes conteúdos aos alunos do ES. Propiciou ainda viva reflexão sobre a inserção do tema nos programas do ES e verificou o interesse de acções de formação sobre temas de TR, TRR e TRG, para professores. A apresentação do tema «As Origens e a Evolução do Universo» (por AA da C) com o mesmo âmbito permitiu ainda: provar que é possível abordar temas de TRG ao nível dos alunos do ES; testar o elevado grau de interesse por estes temas.

2. O Curriculum de Relatividade Restrita

Este artigo tratará do conjunto de temas que constituem a base de formação indispensável em TRR, a incluir nos curricula do ES, procurando uma ordenação adequada destas questões, a que aqui é proposta. Um próximo artigo tratará das questões de TRG.

2.1. Referenciais de Inércia

O primeiro conceito a apresentar será o de referencial de inércia (RI). Em articulação com este conceito, apresentar-se-ão as fórmulas de transformação de Galileu entre dois referenciais, $S(x, y, z, t)$ e $S'(x', y', z', t')$, aonde as coordenadas de espaço são cartesianas e S' se move em relação a S com velocidade $v = v\hat{x}$, e que obviamente traduzem a ideia de tempo absoluto, ou seja, que o tempo flui da mesma maneira em todos os RI:

$$\begin{aligned} x' &= x - vt & y' &= y \\ t' &= t & z' &= z \end{aligned} \quad (1)$$

e

$$\begin{aligned} x &= x' + vt' & y &= y' \\ t &= t' & z &= z' \end{aligned} \quad (2)$$

Das transformações de Galileu resulta que se um móvel, em S' , tem uma velocidade u' , então em S tem uma velocidade

$$u = u' + v \quad (3)$$

As fórmulas de transformação de Galileu dão substância ao seu princípio de Relativi-

dade que postula a invariância das leis da Mecânica em todos os RI (relatividade de Galileu). Entretanto os alunos serão convidados a meditar sobre a inexistência de razão lógico-matemática do ponto de vista do princípio de relatividade para que as fórmulas de transformação tenham de ser (1) e (2) e que traduzem a interpretação corrente deste princípio, e não as mais gerais e simétricas do tipo

$$\begin{aligned} x &= g_1(v)(x' + vt') & y &= y' \\ t &= g_2(v)(t' + h(v)x') & z &= z' \end{aligned} \quad (4)$$

a não ser um postulado adicional, o do tempo absoluto (Levy-Leblond, 1979). Nestas fórmulas $h(v)$, $g_1(v)$ e $g_2(v)$ serão funções da velocidade introduzidas com generalidade, mantendo a linearidade das relações. Os alunos poderão verificar que neste caso a composição de velocidade seria

$$u = \frac{g_1(v)}{g_2(v)} \cdot \frac{u' + v}{1 + h(v)u'} \quad (5)$$

concluindo que na transformação de Galileu

$$\begin{aligned} g_1(v) &= g_2(v) = 1 \\ h(v) &= 0 \end{aligned} \quad (6)$$

e que deste modo as transformações de Galileu parecem ser um caso particular de transformações mais gerais, desde que o tempo passe a relativo: Aqui será referido que as fórmulas de transformação de Lorentz e de composição de velocidades em TRR são do tipo (5), e assim as fórmulas homólogas de Galileu são, de facto, um caso particular do caso geral.

Finalmente, observar-se-á que de acordo com (2) o espaço percorrido por um móvel em S' é menor que em S (espaço relativo), devendo ser discutida a eventual generalização do princípio da relatividade de Galileu a todas as leis da Física.

2.2. A Noção de Trajectória

Estabelecidas as transformações de Galileu, o passo seguinte será uma reflexão sobre o conceito de trajectória.

O exemplo encontra-se esboçado na Fig. 1. Dela se deverá concluir que a trajectória descrita por um corpo depende do sistema de referência em que estiver a ser observado.

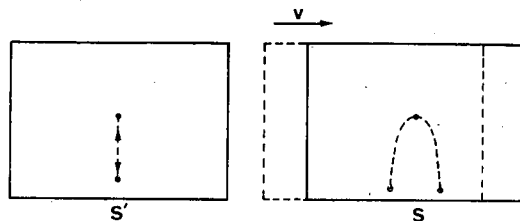


Fig. 1 — Trajectória em S e S' . Esta figura mostra uma bola a ser lançada dentro de uma carruagem tal como é vista por um observador solidário com a carruagem (referencial S') ou solidário com a linha (referencial S). Daqui se deverá concluir que a trajectória depende do referencial em que está a ser observada.

2.3. Simultaneidade de Acontecimentos

Neste ponto apresentar-se-á a noção de que dois acontecimentos são simultâneos quando se realizam no mesmo instante de tempo. Rejeitar-se-á a ideia de que dois acontecimentos são simultâneos quando um observador os vê simultaneamente, pois que esta segunda noção de simultaneidade está associada à ideia de velocidade infinita de propagação da luz. Deverá ser assinalado ser esta a primeira grande diferença entre as duas Físicas, pois que em Física Galileana os dois conceitos de simultaneidade, o verdadeiro e o falso, se confundem um com o outro, o mesmo não sucedendo em Física Relativista.

Este é o momento apropriado para questionar se dois acontecimentos simultâneos em S' o serão em S . Tal só sucederá se a medição do tempo fôr a mesma em S e S' , isto é, se a representação de dois acontecimentos em sucessão for a mesma para cada um deles no espaço e no tempo independentemente do referencial (ver, p. ex. Cabrita, 1986). Para isso imaginemos a seguinte experiência:

a) Tomemos uma carruagem de comprimento L (referencial S') deslocando-se com velocidade v em relação à linha (referencial S).

Um viajante parte duma extremidade e percorre L no intervalo de tempo

$$\Delta t = L/u \quad (7)$$

sendo u a sua velocidade em S' . No referencial S será, de acordo com a Mecânica Galileana,

$$\Delta t' = (L + v \Delta t') / (u + v) \quad (8)$$

e $\Delta t = \Delta t'$.

b) O passo seguinte será substituir o viajante por uma frente de onda. Verifica-se que só se for possível fazer a composição de velocidades para a velocidade da luz, será possível ter representação dos acontecimentos no espaço e no tempo comuns aos dois referenciais.

De acordo com o exposto concluir-se-á que:

a) Só haverá invariância da medida do tempo que decorre entre dois acontecimentos em sucessão, se a luz verificar a interpretação corrente do princípio da relatividade de Galileu e, portanto, a composição de velocidades a ele associada, isto é, o tempo absoluto e invariância da velocidade da luz no vácuo são conceitos incompatíveis;

b) A simultaneidade de acontecimentos em todos os referenciais, bem como a fórmula de composição de velocidades depende da conclusão anterior.

c) A experiência atrás descrita tem de ser totalmente reformulada, caso o tempo não seja absoluto.

2.4. Os Postulados de Einstein

Neste momento os alunos serão confrontados com as seguintes três ideias-chaves:

a) A noção de invariância das leis da Física em todos os RI;

b) A constância da velocidade da luz no vácuo em todos os RI;

c) As transformações de Galileu.

Einstein tomou as duas primeiras como válidas e prescindiu da terceira. A condição *a)* era vital para que as leis do electromagnetismo tivessem a mesma forma e o mesmo conteúdo físico em todos os RI e isto só era consistente

se a condição *b)* se verificasse, o que implicava abandonar a condição *c)*, visto que as Equações de Maxwell só mantêm a sua invariância se as condições *a)* e *b)* se verificarem, substituindo as transformações de Galileu pelas de Lorentz, que serão vistas a seguir. Este tratamento foi legitimado pela experiência, pois que se verificou a invariância da velocidade da luz no vácuo, como também se verá no ponto seguinte.

Ao tomar *a)* e *b)* como os postulados da nova Física, Einstein deu um novo significado ao conceito de invariância, bem mais rico que o anterior. A invariância da velocidade da luz no vácuo, estabelecida de forma incontroversa, alterou a interpretação corrente do Princípio da Relatividade de Galileu. A reformulação dessa interpretação, e generalização deste Princípio a todas as leis da Física, é uma das mais brilhantes contribuições de Einstein para a Física Moderna em particular e o pensamento contemporâneo em geral. Contrariamente ao que se pensava no princípio deste século, devido à sobreposição do postulado do tempo absoluto com o princípio de Relatividade de Galileu, os dois postulados de Einstein formam um todo harmonioso, desde que estejamos preparados para aceitar a introdução de novas propriedades no espaço e no tempo. Estas propriedades alteram a lei de composição das velocidades, e as próprias características da propagação da luz. Os alunos deverão aceitar e verificar como esta fenomenologia se manifesta, como contrapartida para a invariância da velocidade da luz no vácuo.

Deverá ainda ser assinalado, como se verá a seguir, que o conceito correcto não é o da invariância das leis da Física, mas sim o da covariância das mesmas leis.

2.5. A Invariância da Velocidade da Luz no Vácuo

Neste ponto apresentar-se-ão os dois pontos de vista sobre a propagação da luz a partir de uma fonte em movimento, tal como são observados no referencial S e S' (solidário com a fonte), constantes da Fig. 2. Quais dos dois quadros são verdadeiros? A resposta será: ambos. Isto implica a invariância da velocidade da luz no vácuo.

Os alunos analisarão factos que suportem esta invariância. Sugerem-se a elaboração resultante das observações astronómicas de Sitter

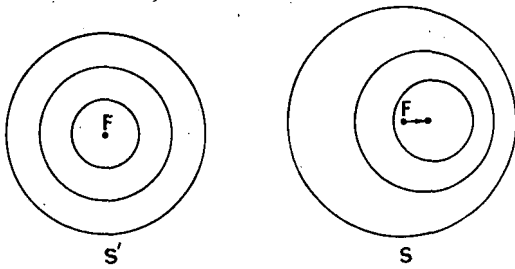


Fig. 2 — Ondas de Luz em S e S'. Esta figura mostra o comportamento aparentemente contraditório das ondas de luz para dois observadores, um no referencial solidário com a fonte (S') e outro no referencial da observação (S). Ambas as descrições são verdadeiras. Daqui se conclui que a velocidade da luz tem de ser invariante e que algumas das outras suas propriedades não o serão.

sobre estrelas duplas exposto no Apêndice I (Fig. 3) e Einstein (1952), e a observação da desintegração de mesões em fotões que se deslocam no referencial do observador com velocidade c e não $c +$ velocidade de deslo-

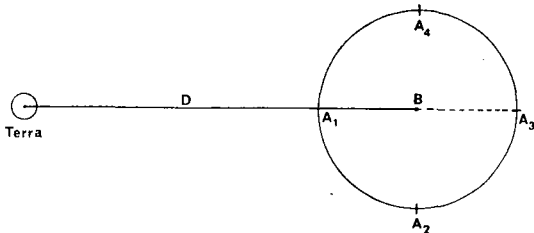


Fig. 3 — Verificação da constância da velocidade da Luz. A luz enviada pela estrela A em A1, A2, A3 e A4 surge por esta ordem e não sobreposta (ver Ap. I).

cação dos mesões. A primeira demonstração sugerida permitirá exibir uma interessante propriedade da TR: a de que a fenomenologia associada a longas distâncias só tem tratamento adequado no seu quadro.

2.6. A Dilatação do Tempo e a Contração do Espaço

A dilatação do tempo será mostrada a partir do comportamento do relógio de Feynman (Apêndice II e Fig. 4), no seu referencial

próprio (S') e no referencial S. Esta dilatação introduz o *factor de Lorentz* cujo significado físico deve ser referido. Se $v \ll c$ então os intervalos de tempo são iguais em ambos os referenciais e estamos na Física de Galileu. A dilatação do tempo foi verificada a partir do aumento do tempo médio de vida do mesão na atmosfera, proveniente de raios cósmicos, antes da sua desintegração.

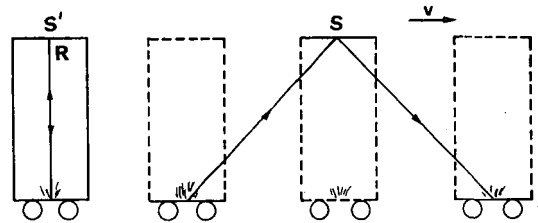


Fig. 4 — O Relógio de Feynmann. A figura exhibe as peculiaridades de contagem do tempo, desde que se admita a constância da velocidade da luz no vácuo, podendo a partir daí exibir-se a dilatação do tempo, pois que o espaço percorrido pela luz no referencial em movimento é maior do que no referencial próprio.

A contração do espaço deverá ser apresentada de acordo com a experiência conceptual das três naves referida no Apêndice III. Porém esta experiência é meramente qualitativa e por si só não permite tirar conclusões quantitativas acerca do relacionamento entre os comprimentos em S e S'.

2.7. Transformações de Lorentz e suas consequências

É este o momento de estabelecer as transformações de Lorentz bem como extrair delas todas as consequências de ordem física.

Cartas de Transformação

O estabelecimento das transformações de Lorentz deverá ser feito na perspectiva exposta por Abreu Faro (1977), conjugando-a com os raciocínios de ordem física contidos em Epstein (1983). Deverão ser referenciados os seguintes pontos «ab-initio»:

a) A TRR substitui o carácter invariante de um dado intervalo de tempo pela invariância

de um intervalo espaço-temporal, isto é, a representação de dois acontecimentos em sucessão no espaço e no tempo, separadamente, foi substituída pela representação num contínuo espaço-temporal, independentemente do referencial que o descreve;

b) A homogeneidade e isotropia do espaço-tempo implicam:

b.1) Relações do tipo

$$\begin{aligned} x' &= Ax + Bt \\ t' &= Cx + Dt \end{aligned} \quad (9)$$

semelhantes a (4);

b.2) Que os resultados obtidos com a ajuda dum sistema de coordenadas particular num RI é independente das coordenadas, isto é, no quadro de transformações globais de coordenadas (abrangendo todo o espaço-tempo) as leis da Física têm a mesma forma e conteúdo — covariância das leis da Física em todos os RI;

b.3) Que existe uma velocidade invariante de propagação de informação, que a experiência mostrou ser a velocidade da luz;

c) Neste contínuo os corpos comportam-se como se se deslocassem à velocidade da luz;

d) Da alínea anterior resultam duas situações limites:

d.1) O corpo está em repouso, ou seja, permanecem constantes os valores das suas coordenadas espaciais. Dois acontecimentos separados por um intervalo dt medido num referencial solidário com o corpo distam no espaço-tempo cdt ;

d.2) O corpo desloca-se no espaço à velocidade da luz (obrigatoriamente um fóton). Então não há variação do tempo próprio do fóton, ou seja é nula a variação da dimensão tempo no universo espaço-temporal.

e) As situações intermédias implicam:

e.1) Uma velocidade na dimensão espacial inferior à velocidade da luz;

e.2) Uma variação na dimensão temporal (tempo próprio) inferior à variação do tempo medido no referencial em repouso.

A articulação rigorosa destas ideias encontra-se exposta em Abreu Faro (1979a), que mostra como a noção de tempo tem a ver

com o processo de transmissão de informação, associado à velocidade dos referenciais. A partir daí é possível estabelecer as transformações de Lorentz. Estas ideias encontram-se sintetizadas na Fig. 5, que mostra um tipo de cartas de transformação.

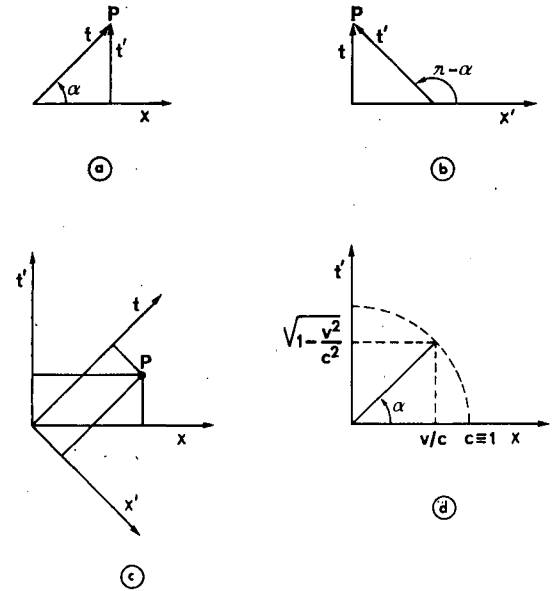


Fig. 5 — Cartas de transformação em TRR entre dois referenciais $S(x, t)$ e $S'(x', t')$. A figura (a) mostra uma fonte luminosa que se desloca no sentido positivo do eixo dos xx . No instante $t=t'=0$ envia uma onda luminosa que ao fim do tempo t em S e t' em S' se encontra no mesmo ponto do contínuo espaço-tempo. Isto define o ângulo α entre os eixos t e x . A reciprocidade de situações, isto é, o referencial S a deslocar-se com velocidade $-v$ em relação a S' , permite construir a figura (b). Daqui é possível desenhar (c) que permite definir as fórmulas de transformação e (d) que permite exibir a fórmula de contracção do tempo próprio por cada segundo de tempo no referencial S , e que permite fazer a homologia com a ideia de que no Universo quadridimensional tudo se passa como se os corpos se deslocassem com a velocidade da luz.

Das transformações de Lorentz resulta o conceito de dessincronização relativa v/c^2 (Abreu Faro, 1977a), de importância capital em longas distâncias. É ainda interessante na perspectiva de Epstein (1983) mostrar o significado da contracção do espaço (Fig. 6), bem como da visualização em termos das cartas de

transformação da experiência das três naves vista em 2.5.

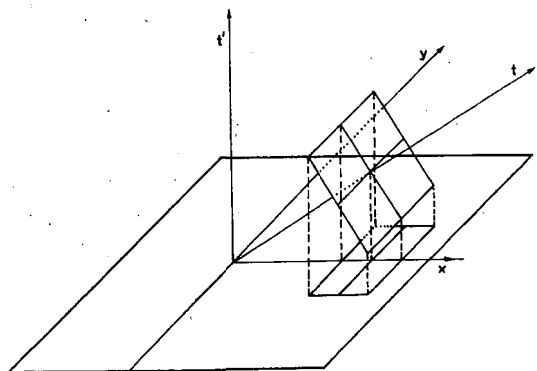


Fig. 6 — Contração do Espaço. A carta de transformação bidimensional permite mostrar de forma incontestável o fenômeno de contração do espaço.

Aberração da Luz e efeito Doppler

As cartas de transformação na sua forma mais simples permitem explicar a aberração da luz e efeito Doppler. A apresentação destes fenômenos e respectiva caracterização servirá para mostrar a riqueza de conceitos resultantes dos postulados de Einstein. Será referido que estes dois efeitos constituem a contrapartida para a invariância da velocidade da luz, isto é, para que esta tenha lugar algumas das propriedades da luz têm de ser alteradas numa mudança de referencial.

Nas aulas deve-se convidar os alunos a fazer construções semelhantes à Fig. 4 para a aberração da luz (Fig. 7). O efeito Doppler deve ser referido, mas é excessivamente complexo mostrá-lo nas cartas de que dispomos.

A Lei de Composição de Velocidades

A lei de composição das velocidades será apresentada aos alunos como consequência das transformações de Lorentz. Através de $v = c \cdot \tanh \theta$ mostrar-se-á que existe uma grandeza, a rapidez (θ), que é de facto aditiva (Levy-Leblond, 1979). Se $v \ll c$ então $v = c\theta$ e daí a composição das velocidades de Galileu para baixas velocidades. Deverá ainda mostrar-se o que se passa quando $u' = c$.

O espaço de Minkowski

Nesta altura mostrar-se-á através da transformação de Lorentz, que existe uma grandeza ds tal que

$$ds^2 = c^2 dt'^2 - dx'^2 = c^2 dt^2 - dx^2 \quad (10)$$

e que é o *intervalo* de dois acontecimentos. Mais geralmente, e porque $dy' = dy$ e $dz' = dz$,

$$\begin{aligned} ds^2 &= c^2 dt'^2 - dx'^2 - dy'^2 - dz'^2 = \\ &= c^2 dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2 \end{aligned} \quad (11)$$

A apresentação da grandeza *intervalo* permitirá exibir a homologia com o conceito de distância em coordenadas cartesianas e mostrar assim que o contínuo espaço-temporal tem características métricas pelo que é um verdadeiro espaço quadridimensional, o espaço de Minkowski, que pelas suas características é normalmente considerado um espaço semi-euclidiano (a forma de calcular ds constitui o teorema de Pitágoras generalizado ao espaço-tempo).

Deverá ainda ser feita a classificação dos intervalos em *género-espaço*, *tempo e luz*, e relacionar com o princípio da causalidade, e relacionado com este deverá ser apresentada a noção de cone de luz.

A quadrivelocidade

Definido o contínuo espaço-tempo, verifica-se que a grandeza velocidade só tem três componentes. Ora a covariância das leis da Física implica que tenha de existir uma quadrivelocidade para garantir a mesma escrita formal. Agora trata-se da derivada em relação ao tempo próprio $d\delta = ds/c$ (Taylor & Wheeler, 1977) das coordenadas do contínuo espaço-tempo. Como $ds/d\delta = c$ é fácil verificar que o módulo da quadrivelocidade vale c .

2.8. A Relação entre Massa e Energia

A relação entre massa e energia e o estabelecimento da expressão $m = m_0 / \sqrt{1 - v^2/c^2}$, onde m_0 é a massa em repouso, deve ser feito

na perspectiva de Taylor & Wheeler (1977) para combinar o princípio da conservação de energia e momento linear com as transformações de Lorentz, fazendo apelo ao conceito de quadrivelocidade. Ao mesmo tempo mostrar-se-á como os conceitos de momento linear e energia formam, o primeiro as componentes espaciais e o segundo a componente temporal do vector energia-impulsão.

A partir de $E=mc^2$ será apresentada a fórmula da energia cinética relativista, mostrando ainda como ela se reduz à expressão não relativista para $v \ll c$.

Os efeitos energéticos serão ainda explorados em termos da Física Nuclear e dos fenómenos de fissão e fusão nucleares.

3. Conclusões

As bases programáticas da TRR permitem dar aos alunos uma formação científica efectiva pelo rigor de conceitos e pela sua articulação com aquilo a que se convencionou chamar a a crise da Física dos princípios do século XX. Ao porem em causa a interpretação corrente do princípio da Relatividade de Galileu, os

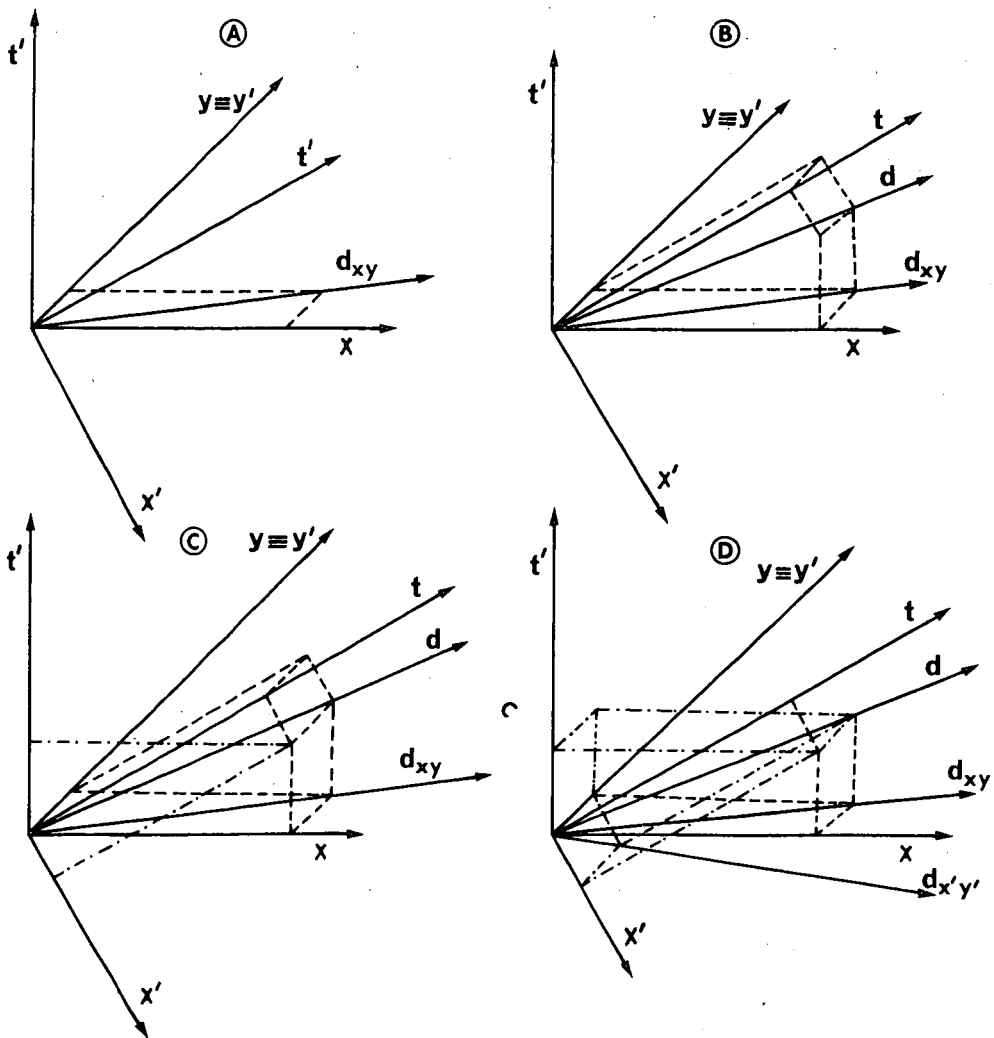


Fig. 7 — Aberração da luz. A carta bidimensional permite mostrar como a aberração da luz é uma consequência directa das propriedades do contínuo espaço-tempo. Uma direcção de propagação da luz no plano xy , d_{xy} , tem no contínuo espaço-tempo a direcção d , e no plano xy , d_{xy} .

físicos generalizaram-no a toda a fenomenologia no quadro dos RI, dando-lhe um conteúdo mais vasto. A invariância da velocidade da luz era afinal uma peça fundamental da nova perspectiva, que se desdobra depois em múltiplas consequências. Verificou-se ainda que afinal a Física Galileana era um caso particular da Física relativista, quando as velocidades eram muito pequenas comparadas com a da luz, e as distâncias eram também muito curtas.

Conforme foi visto na introdução é necessário haver acções de formação para os próprios formadores. Estas devem cobrir não só os fundamentos da teoria, e.g. um estudo exaustivo das cartas de transformação (Abreu Faro, 1976, 1977a, 1977b) e do relacionamento entre o espaço-tempo e o quadriespaço vector de propagação-frequência, mas também das múltiplas aplicações da TRR.

Apêndices

I. A invariância da velocidade da luz exibida por estrelas binárias

Tomemos um binário de estrelas que se encontra a uma distância D da Terra, sendo D da ordem dos milhares de anos-luz. Uma das estrelas, A , roda em torno da companheira num plano que contém a direcção B -Terra. A estrela A encontra-se na sua trajectória em quatro posições, A_1 , A_2 , A_3 e A_4 , que formam com B direcções adjacentes perpendiculares (ver Fig. 6). A_1 é a posição mais próxima da Terra.

Se a velocidade da luz variasse de acordo com a velocidade de deslocação das fontes, então observar-se-ia a sobreposição das imagens de A_1 , A_2 , A_3 e A_4 . Ora tal não se observa. Donde a velocidade da luz é independente da velocidade da fonte que a emite.

II. O Relógio de Feynman

O Relógio de Feynmann é a aplicação directa do conceito de trajectória aplicado à propagação da luz. Como se pode ver na Fig. 4, existe uma diferença entre o espaço percorrido por um raio luminoso que se desloca numa direcção perpendicular ao movi-

mento do seu referencial próprio entre a emissão, reflexão e recepção no mesmo ponto, e o que se passa no referencial S , para a mesma sucessão de acontecimentos. Esta diferença de percurso justifica a contracção dos tempos em S' , $t' = \sqrt{1 - v^2/c^2}$.

III. A experiência das três naves

Suponhamos três naves espaciais A , B e C deslocando-se em linha, sendo $\text{dist}(A, B) = \text{dist}(B, C)$. B é a nave do meio, e o trio desloca-se de C para A . Suponhamos que B lança em simultâneo uma ordem de aceleração para as outras duas naves atingirem uma velocidade superior. Ora o comportamento do trio é diferente, conforme consideremos o referencial S' solidário com o trio de naves, ou no referencial S aonde elas se movem.

No referencial S' a ordem de aceleração chega simultaneamente a A e a C , pelo que as três naves aceleram todas ao mesmo tempo, e a distância permanece a mesma. Mas no referencial S a ordem não chega ao mesmo tempo. De facto ela chegará primeiro a C e só depois a A . A primeira nave a acelerar é C , seguida de B , e finalmente A . Daqui se conclui que como as naves partem inexoravelmente do repouso, as distâncias em S são menores que em S' .

BIBLIOGRAFIA

- ABREU FARO, M. J. — Técnica, **436**, 79 (1976).
 ABREU FARO, M. J. — Técnica, **438**, 283 (1977a).
 ABREU FARO, M. J. — Técnica, **439**, 369 (1977b).
 CABRITA, F. — Trabalho de Estágio, *Noções introdutórias à Teoria da Relatividade Restrita*, Escola Secundária Ferreira Dias (1986).
 CABRITA, F. e DA COSTA, A. A. (1987a) — Submetido para publicação na Gazeta da Física.
 CABRITA, F. e DA COSTA, A. A. (1987b) — Em preparação.
 EINSTEIN, A. e INFELD, L. — *A Evolução da Física*, Livros do Brasil Editores (1939).
 EINSTEIN, A. — *Relativity: The Special and the General Theory*, Methuen & Co. Ltd. (1952).
 EPSTEIN, L. C. — *Relativity Visualized*, Insight Press (1983).
 LEVY-LEBLOND, J.-M. — *La Recherche*, **10**, 23 (1979).
 TAYLOR and WHEELER, J. A. — *Spacetime Physics*, Freeman & Co. (1977).

Um método para determinar curvas de magnetização e de histerese magnética

LUIS CADILLON COSTA e SUSHIL KUMAR MENDIRATTA

Departamento de Física, Universidade de Aveiro, 3800 Aveiro

Descreve-se uma forma modificada do processo laboratorial frequentemente utilizado para traçar curvas de histerese. Utilizando um registador de dois canais em vez dum osciloscópio e uma forma particular de variação temporal do campo de excitação, demonstra-se que se podem determinar não apenas ciclos histeréticos mas também curvas de magnetização inicial de materiais magneticamente moles e duros. É apresentado o circuito que fornece a corrente para o campo de excitação escolhido e também se apontam as vantagens pedagógicas do trabalho.

1. Introdução

Na era da tecnologia de novos materiais e da informática que vivemos hoje, parece-nos importante que alunos universitários das ciências físico-químicas e dos ramos de engenharia sejam iniciados no estudo dos materiais magnéticos. O impacto pedagógico dum trabalho prático realizado pelo aluno no laboratório para a compreensão dos conceitos relacionados com a aplicação desses materiais é inegável [1]. Não se trata aqui de conceitos de interesse muito teórico ou avançados em magnetismo, mas de conceitos simples e práticos como a coercividade, o campo remanente, a magnetização inicial, o ciclo de histerese, etc.

O trabalho prático que se encontra normalmente nos laboratórios está esquematizado na Fig. 1.

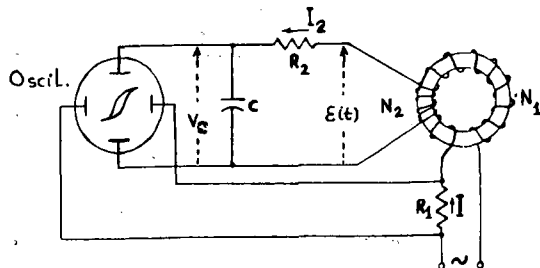


Fig. 1

O material em questão, normalmente ferromagnético, por exemplo ferro macio, é fornecido na forma dum toróide, sobre o qual se fizeram dois enrolamentos, um com N_1 espiras

(primário) e outro com N_2 espiras (secundário). Uma fonte de corrente sinusoidal (normalmente um transformador ligado à rede), duas resistências (R_1, R_2), um condensador (C), e um osciloscópio perfazem tudo o que é preciso para visualizar o ciclo de histerese. Observar no écran fluorescente uma figura agradável à vista tem um impacto que permanece bastante tempo na memória do aluno. Apesar disto e da simplicidade do esquema em termos de recursos, pensamos que a experiência tem, pelo menos, duas desvantagens pedagógicas: (i) o princípio físico subjacente ao processo de medição não é transparente e (ii) não é possível medir a curva de magnetização inicial.

Antes de descrever a alternativa que propomos, valerá a pena rever sucintamente o princípio base de determinação da curva de magnetização. A corrente $I(t)$ no enrolamento primário, variável no tempo, dá origem ao campo de excitação $H(t)$, de intensidade proporcional a I ,

$$H(t) = f_g \cdot I(t) \quad (1)$$

onde f_g é um factor geométrico que pode ser determinado experimentalmente e $H(t) = |H(t)|$. Este campo corresponde, por sua vez, ao campo magnético (ou indução magnética) que designaremos por $B(t)$. A relação entre B e H é precisamente a característica do material em estudo, designando-se a curva $B=B(H)$ por curva de magnetização do material.

O campo \mathbf{B} cria um fluxo magnético ϕ em toda a secção transversal do toróide, dado por:

$$\phi(t) = \int_S \mathbf{B}(t) \cdot d\mathbf{S}$$

onde S é a secção recta do toróide e $d\mathbf{S}$ é um vector com módulo igual à área de um elemento infinitesimal da secção recta do toróide, e direcção normal à secção [2]. A variação temporal do fluxo $\phi(t)$ dá, por sua vez, origem a uma força electromotriz (f.e.m.) de valor $\varepsilon(t) = -d\phi/dt$. Na aproximação em que $\mathbf{B}(t)$ é constante em toda a secção recta do toróide podemos escrever (2):

$$\varepsilon(t) = - \frac{d\phi(t)}{dt} = -N_2 S \frac{dB(t)}{dt} \quad (2)$$

Portanto:

$$B(t) = - \frac{1}{N_2 S} \int_0^t \varepsilon(\tau) d\tau \quad (3)$$

Assim a medição simultânea, em função do tempo, da corrente $I(t)$ no primário do toróide e do integral de $\varepsilon(\tau)$ no secundário permite determinar, conhecidos os factores geométricos f_g e $N_2 S$, o par de valores (H, B) correspondentes a cada valor de t ; obtemos assim a desejada relação $B=B(H)$. Note-se que esta relação, e em particular a Eq. 3, não põe qualquer restrição sobre a dependência funcional de $I(t)$ e da f.e.m. resultante, $\varepsilon(t)$.

2. O método habitual de estudo do ciclo histerético

Na prática, é comum utilizar uma corrente de excitação $I(t)$ sinusoidal, como é o caso da Fig. 1. Como já foi referido, usa-se a tensão da rede para este fim (50 Hz) e deste modo dispensa-se a necessidade de equipamento quanto à fonte. Nestas condições, podemos escrever:

$$I(t) = I_0 \sin wt$$

$$V_1(t) = R_1 I(t) = R_1 I_0 \sin wt$$

A tensão $V_1(t)$ no circuito da Fig. 1 é proporcional (a menos do factor geométrico f_g e

da resistência R_1) ao campo de excitação $H(t) = H_0 \sin wt$. A tensão $V_c(t)$ nos terminais do condensador C resulta, por outro lado, da aplicação da f.e.m. induzida no secundário (com N_2 espiras) ao circuito constituído pela resistência R_2 e pelo condensador C em série.

É fácil demonstrar que quando o produto RC é muito superior ao período da senoide ($T = 2\pi/\omega$), a tensão $V_c(t)$ nos terminais do condensador (que é aplicada ao canal vertical do osciloscópio) dá-nos o integral da f.e.m. no tempo. De facto, designando a corrente na resistência R_2 por $I_2(t)$ e tendo em conta que não flui nenhuma corrente nos terminais do osciloscópio, temos:

$$R_2 I_2(t) = \varepsilon(t) - V_c(t) = \varepsilon(t) - \frac{1}{C} \int_0^t I_2(\tau) d\tau$$

ou

$$R_2 I_2(t) + \frac{1}{C} \int_0^t I_2(\tau) d\tau = \varepsilon(t) \quad (4)$$

Derivando em ordem ao tempo vem:

$$\frac{dI_2(t)}{dt} + \frac{1}{R_2 C} I_2(t) = \frac{1}{R_2} \frac{d\varepsilon(t)}{dt}$$

Para uma forma sinusoidal da variação da corrente, $I_2(t) = I_2 \sin wt$, vem:

$$I_2 \cos wt + \frac{1}{\omega R_2 C} I_2 \sin wt = \frac{1}{\omega R_2} \frac{d\varepsilon(t)}{dt}$$

e quando $\omega R_2 C (\equiv 2\pi R_2 C/T) \gg 1$, o segundo termo no lado esquerdo da equação pode ser desprezado em comparação com o primeiro. Pode-se, nesse caso, escrever:

$$\frac{dI_2(t)}{dt} = \frac{1}{R_2} \frac{d\varepsilon(t)}{dt}$$

donde se tira $I_2(t) = \varepsilon(t)/R_2$, tomando a constante de integração como zero ($t=0, I_2=0, \varepsilon=0$). Finalmente,

$$V_c(t) = \frac{1}{C} \int_0^t I_2(\tau) d\tau = \frac{1}{R_2 C} \int_0^t \varepsilon(\tau) d\tau \quad (5)$$

Usando as relações (5) e (3), e atendendo a (1), é fácil sintetizar as duas equações que determinam H e B:

$$\begin{cases} H(t) = f_g \cdot I(t) \\ B(t) = -\frac{1}{N_2 S} \int \varepsilon(\tau) d\tau = -\left(\frac{R_2 C}{N_2 S}\right) \cdot V_c(t) \end{cases} \quad (6)$$

3. Um método alternativo

A observação importante que podemos fazer a partir das equações (2) e (3) é que a utilização da forma sinusoidal da corrente não é essencial, mas sim a medição simultânea da corrente I(t) e de ε(t), desde o instante inicial t=0 quando a corrente I é nula. Uma vez obtidos estes valores «sincronizados» no tempo, a integração na Eq. 3 pode ser efectuada gráfica ou numericamente. Explicitemos melhor o procedimento em vista através da Fig. 2, com a

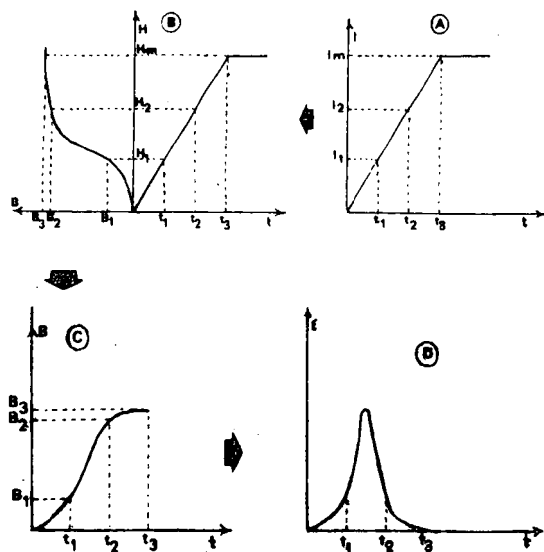


Fig. 2

sequência lógica segundo a qual uma dada forma de corrente I(t) aplicada (Fig. 2A) ao enrolamento envolvendo o toróide do material a estudar (com uma determinada forma da relação B=B(H); Fig. 2B) dá origem à forma de ε(t) (Fig. 2D) específica a estas condições. Na Fig. 2 escolheu-se a forma linear de varia-

ção temporal da corrente apenas por conveniência de representação; o argumento é válido, como se pode concluir facilmente, para qualquer forma monótona de variação da corrente. A sequência lógica, indicada pelas setas na Fig. 2, é a seguinte:

$$I(t) \longrightarrow H(t) \longrightarrow B(t) \longrightarrow \varepsilon(t)$$

$H = \text{const} \times I$ $B = B(H)$ $\varepsilon \propto -dB/dt$

O método alternativo que propomos é *não usar* deliberadamente a forma sinusoidal da corrente, mas uma *forma geral* (embora escolhida com critérios pedagógicos; ver secção 6), *registando* então os valores simultâneos da corrente I(t) e da f.e.m. ε(t) (na configuração utilizada usa-se um registador de dois canais), e *efectuar a integração* referida na Eq. 3 por um método

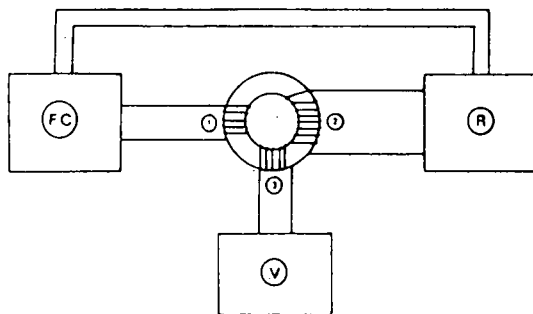


Fig. 3 — FC — Fonte de corrente; 1 — Bobina primária; 2 — Bobina secundária; R — Registador XY, dois canais; 3 — Bobina de detecção do campo remanente; V — Voltímetro digital.

numérico ou gráfico. Esta proposta tem a vantagem didática de explicitar claramente, passo a passo, os fenómenos físicos subjacentes ao resultado final.

4. Configuração experimental

A configuração experimental para a concretização do método proposto está esquematizada na Fig. 3. A função da bobina 3 e do volímetro digital (V) associado será explicada na secção 6.

A f.e.m. induzida, além dos factores geométricos como o número das espiras no secundário (N₂) e no primário (N₁), depende da taxa de

variação da corrente. Uma escolha adequada da forma de corrente e da sua taxa de variação, portanto, é importante para facilitar a medição. Na Fig. 4 apresenta-se o esquema de blocos que

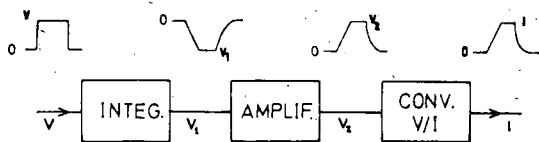


Fig. 4

representa a fonte de corrente; a forma da corrente também está indicada na mesma figura. Na secção 6, encontra-se a justificação para a escolha desta forma.

Na Fig. 5 apresenta-se o circuito electrónico utilizado na prática; o circuito permite, com a ajuda do interruptor K_1 , escolher três diferentes formas de variação no perfil da corrente.

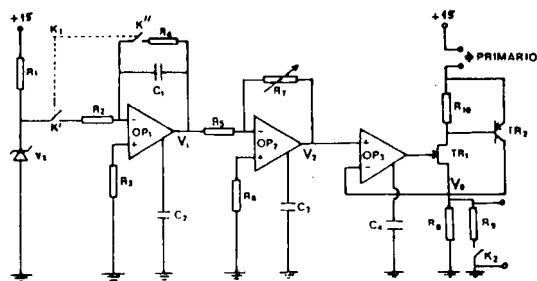


Fig. 5

Como o objectivo deste trabalho é fornecer uma configuração simples, quer do ponto de vista pedagógico quer de recursos, optou-se por não incorporar a variação contínua da taxa de variação da corrente.

Os parâmetros do projecto são: número das espiras no primário e no secundário e ainda as especificações da sensibilidade máxima e da velocidade máxima de arrastamento do papel no registador. Em vez de discutir neste artigo como otimizar os parâmetros (remetemos para a ref. 1), valerá a pena mencionar que com um registador normal (velocidade máxima de 5 mm/s e sensibilidade máxima de 20 μ V) é possível estudar materiais magneticamente moles e duros.

5. Resultados ilustrativos

Neste parágrafo apresentamos os resultados obtidos para dois materiais diferentes: um mole e outro duro. Depois de verificar que os materiais estão inicialmente desmagnetizados (ver secção seguinte) traçaram-se os gráficos de $I(t)$ e $\epsilon(t)$ utilizando os seguintes valores dos parâmetros:

	Duro	Mole
Velocidade do papel (mm/s)	2.5	5
Corrente máxima (mA)	610	55
Sensibilidade da escala de $\epsilon(t)$ (mV/cm)	50	200

Na Fig. 6 está representada a variação da corrente e da f.e.m. resultante para o material duro. Pelo processo da integração gráfica

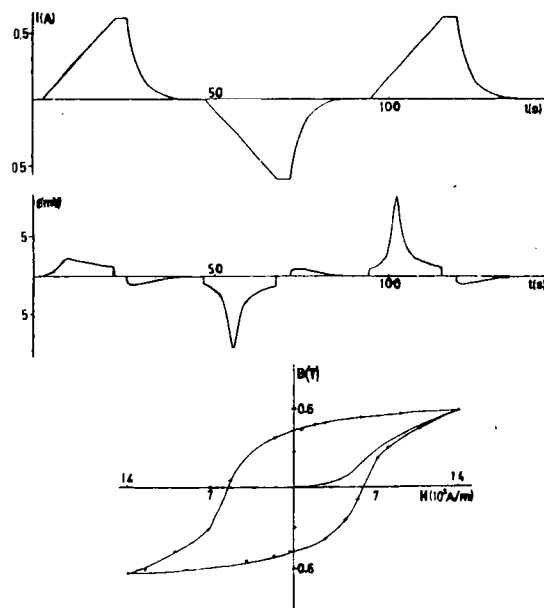


Fig. 6

(contagem de quadrículos em papel milimétrico) foi obtida a curva de B vs. H , que se apresenta também na mesma figura. Os resultados para o material mole estão na Fig. 7.

6. Observações finais

A. Os resultados obtidos demonstram a viabilidade do método, e as várias repetições efectuadas confirmam a sua fiabilidade para

a determinação quantitativa das propriedades magnéticas dos materiais vulgarmente encontrados. Salienta-se o valor pedagógico da visualização por parte do aluno, *em tempo real*, da curva da f.e.m. induzida e da integração gráfica da curva da f.e.m. no tempo.

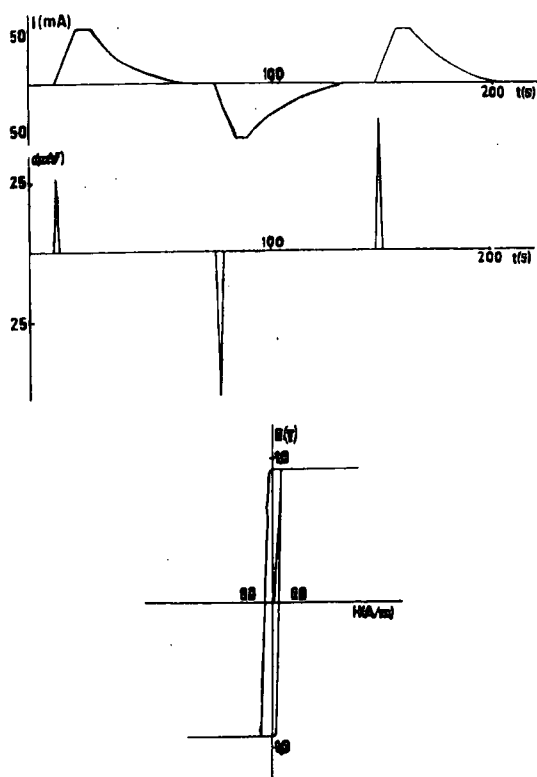


Fig. 7

B. A forma da corrente indicada na Fig. 4 não é essencial e, de facto, qualquer variação da corrente que consista de duas partes, uma aumentando monotonamente com o tempo e outra diminuindo também monotonamente, serve. Mas a forma escolhida, uma parte linear seguida de uma parte constante e de outra com decaimento exponencial, tem vantagem pedagógica. A parte linear facilita os cálculos, a parte exponencial demonstra que a forma da variação não é importante e a parte constante confirma a anulação da f.e.m. quando não há variação do campo e portanto do fluxo.

C. A parte inicial da curva de B vs. H depende do valor da magnetização inicial do material. Este facto é muito fácil de verificar

no esquema descrito nos parágrafos anteriores. Mas também não é difícil desmagnetizar o material por aplicação de campos de excitação sucessivamente mais pequenos. O problema que se apresenta no fim desta operação é o de verificar que a magnetização remanente é nula. Para conseguir isso foi construído um outro toróide auxiliar (3, na Fig. 3) enfiado no do material, de modo a formar uma cadeia. A vibração do toróide auxiliar, de modo que o fluxo através das suas espiras varie, induz nelas uma f.e.m. Um outro voltímetro sensível ($\sim 1 \mu\text{V}$) permite detectar essa f.e.m. e portanto a magnetização, mesmo pequena, do material.

D. Nesta experiência utilizámos a forma toroidal do material a estudar. Todavia, os princípios do método aplicam-se igualmente a qualquer outra forma geométrica da amostra. É evidente que para o cálculo quantitativo da curva B versus H noutros casos, como por exemplo da amostra cilíndrica, o factor de desmagnetização entra nos cálculos. Mas valerá a pena repetir que consideramos o toróide a forma mais indicada para fins pedagógicos.

E. Apresentamos os nossos resultados utilizando um registador de dois canais para efectuar a medição simultânea de $I(t)$ e $\epsilon(t)$. Pensamos que o uso de outros meios electrónicos mais sofisticados, por exemplo o osciloscópio digital com memória, pode elevar a precisão da técnica ao nível da investigação.

Os autores terão muito gosto em fornecer ao leitor interessado quaisquer pormenores não mencionados. Gostaríamos de agradecer ao Prof. J. Bessa Sousa sugestões úteis para a melhoria do texto.

REFERÊNCIAS

- [1] LUIS CADILLON COSTA, «Aula Prática e Teórico-Prática sobre Histerese Magnética», Relatório apresentado no âmbito das provas de Aptidão Pedagógica, Universidade de Aveiro, 1987.
- [2] Para uma discussão mais pormenorizada, ver por exemplo S. K. Mendiratta «Introdução ao Electromagnetismo», Fundação Calouste Gulbenkian, 1984, cap.º XIII.

3.^{as} Olimpíadas de Física (*)

Provas Regionais do 9.º ano (**)

(Teórico-Experimental)

Delegação de Lisboa

Actividade 1 (75 min.)

A — Dois alunos de uma turma discutem se os 2 corpos que têm sobre a mesa de trabalho serão feitos da mesma substância.

Os dois alunos têm opiniões diferentes.

B — Tendo à vossa disposição os corpos descritos em A, que designamos por X e por Y, e ainda o material experimental que se encontra sobre a mesa de trabalho, planeiem uma experiência que permita concluir qual dos dois alunos tem razão.

C — Executem a experiência de acordo com o plano previamente estabelecido.

D — Elaborem um relatório que inclua: plano de realização da experiência, esquemas das montagens utilizadas, registos de dados, cálculos, análise crítica dos resultados obtidos e conclusões.

Material: 2 roldanas, alavanca, mola de hélice, craveira, régua graduada, proveta graduada, suporte universal, massas marcadas, um corpo designado por X e outro designado por Y, fita cola e papel milimétrico.

Actividade 2 (75 min.)

A — Nesta actividade podem estudar transformações de energia eléctrica em energia térmica numa lâmpada inserida em diferentes circuitos.

B — Verifiquem se têm sobre a mesa de trabalho o seguinte material: 2 pilhas de 4,5V, 2 suportes com lâmpadas, fios de ligação, amperímetro e voltímetro.

C — Utilizem o material referido na alínea anterior para montar circuitos eléctricos em que se associem em série e em paralelo, lâmpadas e pilhas.

D — Para cada um dos circuitos, nas diferentes situações de associação de pilhas e lâmpadas, e apenas para uma das lâmpadas, calculem a quantidade de energia eléctrica que se transforma em energia térmica durante cada segundo em que o circuito se encontra ligado.

E — Elaborem um relatório que inclua: esquemas dos diferentes circuitos montados com voltímetro e amperímetro intercalados, justificação do uso de amperímetro e voltímetro, registo de dados relativos às diversas situações, cálculos, análise crítica dos resultados obtidos, e conclusões, focando as vantagens e inconvenientes dos diversos circuitos utilizados relativamente à transformação de energia eléctrica em energia térmica.

Delegação do Porto

Parte 1 (80 min.)

1 — Para manter um corpo em equilíbrio num plano inclinado onde se supõe desprezável o atrito, é necessário exercer sobre o mesmo uma força F de direcção paralela ao plano inclinado e cuja intensidade está relacionada com o peso P do corpo, a altura h e o comprimento l do plano, através da igualdade:

$$F = P \times (h/l) \quad (1)$$

1.1 — Planeia uma experiência que permita verificar a relação (1), usando o seguinte material: prancha de madeira, carrinho, fio, suporte com haste móvel, régua e dinamómetro.

Tempo disponível: 20 minutos

1.2 — Executa a experiência planeada.

Nota: Se não conseguirem fazer o planeamento, podem executar a experiência segundo um planeamento que será fornecido se assim o pretenderem ⁽¹⁾.

(*) Ver ainda *Noticiário SPF*, 1.1, 2.1 e 3.1.

(**) O texto das provas Regionais do 11.º ano será publicado no próximo número da *Gazeta de Física*.

⁽¹⁾ Planeamento: — Coloca a placa metálica inclinada, fixando-a no suporte (se necessário, utiliza plasticina para melhor a fixares).

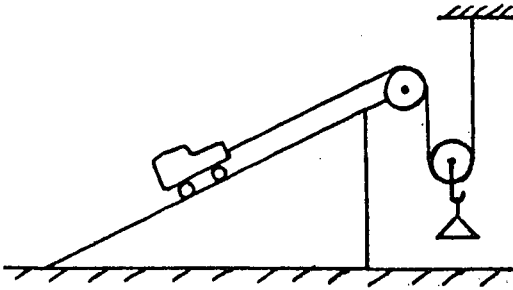
— Servindo-te do fio e do dinamómetro, mede

1.3 — Em qualquer das situações apresenta um relatório pormenorizado.

Tempo disponível para as tarefas 1.2 e 1.3: 60 minutos.

Parte 2 (90 min.)

2.1 — Usando a montagem ilustrada e utilizando pesos conhecidos, equilibra o carrinho sobre o plano inclinado.



2.2 — Calcula:

2.2.1 — a intensidade da força que o fio exerce no carrinho;

2.2.2 — o peso do carrinho (recordar a condição de equilíbrio - Parte 1).

2.3 — Supõe que o carrinho é deslocado de 10 cm ao longo do plano inclinado aproximando-se da base. Calcula, nestas condições, o trabalho realizado pelos pesos conhecidos. (Indicar todos os cálculos).

2.4 — Supõe que se revestia a superfície do plano com flanela. Prevê se a leitura no dinamómetro seria a mesma ou diferente. Fundamenta a tua previsão.

2.5 — Testa a hipótese que formulaste em 2.4. Descreve o procedimento adoptado.

Delegação de Coimbra

Sabes bem que quando uma viatura entra numa curva sem alguns cuidados pode despistar-se. A experiência que vais realizar permitir-te-á entender melhor «Porque razão os automóveis conseguem fazer as curvas na estrada» e poderás depois responder a algumas questões sobre este tema.

Passemos então à realização experimental (duração: 120 min.).

Material disponível: carro com motor a pilhas, placa de madeira polida com um prego no meio, mola elástica, fio de algodão, massas marcadas, fósforos, régua graduada, suportes, fita adesiva, tesoura e papel milimétrico.

I

Prende uma extremidade do fio à parte lateral do carro e a outra ao prego existente na tábua. Em seguida liga o interruptor do carro. Como podes observar o carro move-se descrevendo uma trajectória circular.

a) Diz quais são as forças que actuam sobre o carro, indicando (através de uma figura) as suas direcções e sentidos.

b) Com o carro em movimento, queima o fio que o prende ao prego. Descreve o movimento do carro, após teres queimado o fio.

c) Quais são as forças que actuam sobre o carro, depois de queimado o fio?

Indica a direcção e o sentido de cada uma delas.

d) Explica qual o papel do fio no movimento circular do carro.

II

Para entenderes melhor a acção do fio, vais agora substituí-lo por uma mola. Prende a mola à parte lateral do carro e ao prego e liga o interruptor do carro:

a) Descreve cuidadosamente o que observas.

b) Usando o material de que dispões caracteriza a força aplicada ao carro e que o faz descrever a trajectória circular. Calcula a sua intensidade e justifica os cálculos que fizeste.

a intensidade da força necessária para manter o carrinho em equilíbrio no plano inclinado.

— Procede do mesmo modo para diferentes inclinações do plano.

— Mede, em cada situação, todas as grandezas cujo conhecimento é essencial à resolução do problema.

Depois de realizado este estudo experimental vais procurar responder às seguintes questões:

a) Os automóveis que andam nas vias públicas não necessitam de estar amarrados aos postes existentes nos passeios para curvarem.

Como conseguem então curvar?

b) Justifica as recomendações das Brigadas de Trânsito relativas aos cuidados que os condutores devem ter quando conduzem em piso molhado ou quando existam manchas de óleo no pavimento, bem como a proibição,

pelo Código da Estrada, de conduzir viaturas com pneus «carecas».

c) Como sabes, os despistes dos automóveis nas curvas são mais frequentes quando estes circulam com excesso de velocidade. Tenta dar uma justificação para este facto, dizendo o que deverias observar se, na realização da experiência II, fizesses aumentar a velocidade do carro.

d) Como procederias para investigar se a força que é necessário aplicar ao automóvel para descrever uma curva depende da carga que este transporta?

e) Identifica e localiza os pares «acção-reacção» nas experiências que fizeste.

CARTAS AO DIRECTOR

Com vista a incentivar o diálogo com os sócios da SPF, e a veicular críticas ou sugestões sobre as actividades e funcionamento da Sociedade, iniciamos neste número a rubrica «Cartas ao Director da Gazeta de Física».

De uma carta do Doutor F. Pulido Valente, de 10-6-87, transcrevemos as seguintes passagens.

Exmo. Sr. Director da Gazeta de Física

Publicou a revista que V. Exa. dirige nos fascículos 1 e 2 do vol. 10, um trabalho de João Pedroso de Lima, sob o título «Conceitos físicos em metodologias radiológicas» que é digno de merecer a atenção de todos quantos se interessam pela Física Radiológica.

Comentar este trabalho é, quanto a mim, uma forma de apreciação mais válida do que um simples elogio protocolar. É este comentário que me proponho aqui fazer.

Era já do meu conhecimento uma anterior versão deste trabalho, sob a forma duma lição apresentada pelo autor no curso de Física aplicada à Radiologia, realizado em Maio do ano passado, no Instituto Português de Oncologia. A presente versão apresenta algumas alterações, quase sempre para melhor, em relação à anterior, mas conserva, duma maneira geral a mesma orientação metodológica.

O autor parte da análise dum exemplo concreto para obter resultados quantitativos, com o objectivo de avaliar as limitações da radiografia convencional e de compará-la com a tomografia axial computadorizada.

Apesar de nesta versão do seu trabalho se demonstrar um maior cuidado em distinguir entre

os vários factores que determinam a percepção do contraste — fisiológicos, resposta do filme, ruído — não me parece que resulte ainda suficientemente claro que a verdadeira razão das limitações da radiografia convencional reside na presença do ruído provocado fundamentalmente pela radiação difusa devida ao efeito Compton.

A maior resolução de contraste conseguida em tomografia computadorizada, resulta fundamentalmente da limitação espacial imposta ao feixe de raios X. A digitalização da imagem permite, sem dúvida, ampliar a resposta dinâmica ao sinal emergente, mas o mesmo resultado pode-se também obter pela simples leitura digital do filme convencional, por meio dum laser, como de resto já está comercialmente realizado. Curioso é também que existe já no mercado um sistema radiográfico em que, utilizando ainda embora o filme como elemento de detecção, se limita o feixe de raios X por meio duma fenda, efectuando-se um varrimento («scanning») da zona a radiografar (com prejuízo, claro, do aumento da dose).

A combinação destes dois sistemas, aliada à técnica de energia múltipla, conduziria a uma optimização da radiografia convencional, sem, como é evidente, substituir a tomografia computadorizada.

.....

Finalmente lamentamos também que o autor não mantenha na 2.ª parte deste trabalho o mesmo nível de análise teórica que demonstrou na 1.ª parte — de facto, a exposição dos métodos de reconstrução de imagem é manifestamente muito incompleta. Pena é também que o autor não tenha conseguido expurgar completamente do seu trabalho a utilização do termo coeficiente de absorção linear, quando, como certamente muito bem sabe, o termo correcto neste caso, é coeficiente de *atenuação* linear.

Miraflares, 10 de Junho de 1987

Fernando Pulido Valente

1. Delegação Regional de Lisboa

1.1. Olimpíadas Regionais de Física - 87

Teve lugar no Edifício C1 da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, no dia 6 de Junho de 1987, a etapa regional das 3.^{as} Olimpíadas de Física para alunos do ensino secundário da região de Lisboa, Sul e Ilhas. Das 26 Escolas Secundárias que tinham declarado a intenção de enviar concorrentes estiveram presentes as 24 seguintes:

Mouzinho da Silveira-Portalegre, Fonseca Benevides, Instituto de Odivelas, Linda-a-Velha, Amadora, Camões, N.º 1 Vila Franca de Xira, Colégio Militar, N.º 2 Vila Franca de Xira, Pupilos do Exército, Sebastião e Silva, N.º 1 dos Olivais, Paço de Arcos, Angra do Heroísmo, Antero de Quental-Ponta Delgada, Tavira, Funchal, Jaime Moniz-Funchal, Jacóme Ratton-Tomar, N.º 1 Abrantes, Sá da Bandeira-Santarém, Emídio Navarro-Setúbal, Santo André-Setúbal, S. Julião-Setúbal.

Cerca de 120 alunos participaram nas provas teórico-experimentais do 9.º ano e do 11.º ano e ainda nas provas constituídas pela apresentação de um trabalho original versando um tema de Física. Foram vencedoras nas diferentes provas as seguintes equipas:

a) Prova Teórico-Experimental

9.º Ano — o Júri deliberou atribuir o prémio ex-aequo:

João Subtil, Daniel Moreira, Pedro Dias
Colégio Militar — Lisboa.

Ana Borges, Carla Silveira, José Reis
Esc. Sec. Antero de Quental — P. Delgada

11.º Ano

António Baptista Dias, Paulo Jorge Belo,
Rodolfo Bacatum

Esc. Sec. n.º 1 Vila Franca de Xira

b) Prova de Criatividade (*)

b.1. Programa de Computador
Marco Gonçalves, Sandra Lopes, Luís Marcelino

Escola Secundária Jacóme Ratton — Tomar

b.2. Audiovisuais

O Júri deliberou, por unanimidade, atribuir o prémio ex-aequo:

Marta Nabais, Fernando Rebola, Mário Freire

Esc. Sec. Mouzinho da Silveira — Portalegre

Nuno Ferreira, Carlos Tomaz, Joaquim Ribeiro

Instituto Militar dos Pupilos do Exército

b.3. Dispositivo Experimental

Sofia Luís, Patrícia Venâncio, José Meneses
Escola Secundária Paço de Arcos

Das 14h30 às 17h30 os alunos assistiram a uma sessão no Planetário Calouste Gulbenkian e visitaram alguns pontos turísticos da nossa capital.

Pelas 19h00 do mesmo dia, foram distribuídos os prémios às equipas vencedoras e respectivas escolas e ainda prémios de participação a todos os alunos.

A Delegação Regional de Lisboa contou com o apoio das seguintes entidades para angariação dos prémios e despesas inerentes à organização: Faculdade de Ciências de Lisboa, Tecnodidática, Nucleon, Câmara Municipal de Almada, American Cultural Council, Instituto Alemão, CTT, Instituto Italiano de Cultura, Dina Livro, Plátano Editora, Editorial Caminho, Livraria Escolar Editora, Foc-Escolar.

1.2. Colóquios sobre «A Física e a Medicina»

A partir de 13 de Outubro, às 3.^{as}-feiras, 18 horas, na sede da SPF, a Delegação vai organizar um ciclo de quatro colóquios sobre «A Física e a Medicina», aberto à participação de todos os sócios interessados.

(*) Apresentação de trabalho original sobre tema de Física.

2. Delegação Regional do Porto

2.1. Olimpíadas Regionais de Física - 87

As provas decorreram na Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, nos dias 14 e 15 de Maio, com a presença de 16 equipas do 9.º ano e 7 equipas do 11.º ano, que representavam as seguintes Escolas:

Marco de Canaveses; N.º 2 de Matosinhos; N.º 2 de Vila Nova de Gaia; Oliveira Martins (Porto); Paredes; Preparatória de Alfândega da Fé; Régua; Rodrigues de Freitas (Porto); Alberto Sampaio (Braga); Aurélia de Sousa (Porto); Carolina Michaelis (Porto); Emídio Garcia (Bragança); Externato Nossa Senhora do Perpétuo Socorro (Porto); Freixo de Espada à Cinta; Garcia de Orta (Porto) e Gondomar.

Foram vencedoras nas diferentes provas as seguintes equipas:

a) Prova Teórico-Experimental

9.º ano — Fernando Jorge Realista de Carvalho, Maria José Camelo Ferreira, Ângela Virgínia Reboredo Almendra.

Escola Sec. e Prep. de Alfândega da Fé

11.º ano — Maria da Conceição Q. Pimentel e Silva, Teresa Alexandra de O. Rodrigues, Maria Susana F. A. S. Fapiães.

Escola Sec. n.º 2 de Matosinhos

b) Prova de Criatividade

Nenhuma das equipas foi considerada vencedora absoluta, tendo o júri optado por uma classificação ex-aequo.

A delegação Regional Norte da SPF agradece o apoio da Fábrica de Chocolates Imperial, SARL, Amorim Lage Lda., bem como a importante participação financeira da Câmara Municipal do Porto.

2.2. Centenário de Erwin Schrödinger

A Delegação resolveu associar-se às comemorações do centenário de Erwin Schrödinger, um dos fundadores da Mecânica Quântica. Para esse efeito levará a cabo uma série de

actividades, dentre as quais um ciclo de palestras de que podemos confirmar desde já:

2 Dezembro, 17h30 — «A Física Quântica e o Estado Sólido» — *Doutora M. Céu Marques* (U. Porto).

9 Dezembro, 17h30 — «A Interpretação de Copenhague» — *Doutor Filipe Duarte Santos* (U. Lisboa).

16 Dezembro, 17h30 — «Irreverências do Mundo Quântico» — *Doutor J. Lopes dos Santos* (U. Porto).

As palestras terão lugar no Anfiteatro de Física da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

Está ainda prevista a realização de um encontro destinado à discussão de conteúdos programáticos e estratégias de ensino da Física Quântica a nível do Secundário, e uma exposição organizada em torno da obra e personalidade de Erwin Schrödinger. Sobre esta actividade daremos notícias posteriormente.

3. Delegação Regional de Coimbra

3.1. Olimpíadas Regionais de Física - 87

Tiveram lugar no Departamento de Física da FCTUC, no dia 17 de Junho, as provas regionais das Olimpíadas de Física - 87 com o seguinte programa:

10h00 — Visita guiada à Universidade.

11h00 — Montagem de dispositivos experimentais.

12h00 — Almoço.

14h00 — Provas Teórico-Experimentais.

16h00 — Lanche — Convívio.

16h30 — Provas facultativas.

Aos professores acompanhantes foi facultada uma visita ao Museu Nacional da Ciência e da Técnica.

Estiveram presentes equipas de 13 escolas Secundárias:

Adolfo Portela (Águeda), Mealhada, Avelar Brotero (Coimbra), Nuno Álvares (Castelo Branco), Anadia, Alves Martins (Viseu), N.º 1 (Aveiro), José

Falcão (Coimbra), Afonso de Albuquerque (Guarda), Domingos Sequeira (Leiria), Rodrigues Lobo (Leiria), Rafael Bordalo Pinheiro (Caldas da Rainha) e Ponte de Sôr.

a) Prova Teórico-Experimental

9.º ano — Concorreram 6 escolas:

Equipa vencedora: — Pedro Miguel Faria, Pedro Miguel Simões, Rui Manuel Reis.

Escola Sec. de Avelar Brotero — Coimbra

11.º ano — Concorreram 12 escolas:

Equipa vencedora: — Joaquim Pires A. Mendes, Graciosa Mendes Martins, Maria do Céu Venâncio Leão.

Escola Sec. Nuno Álvares — Castelo Branco

b) Prova de Criatividade

Foi distribuída uma menção honrosa à equipa do 9.º ano da Escola Secundária Alves Martins de Viseu, que apresentou como trabalho original uma peça de teatro intitulada «Inventos da Física».

A equipa, que representou a peça, era constituída pelos alunos: Elsa Cardoso, Isabel Cristina Natário e Lúcio Almeida.

Estas provas tiveram o apoio e patrocínio do Departamento de Física da FCTUC, Livraria Casa do Castelo, Livraria Almedina, Banco do Fomento Nacional, Ourivesaria Patrão, M. T. Brandão, Lda. (Porto).

Constituíram o Júri, os Profs. Doutores Carlos Fiolhais, M. José Marques Almeida, M. Margarida Ramalho Costa, M. Salette Pinheiro Leite, Drs. Décio Martins e M. Helena Cabral, e prestaram a sua colaboração os Drs. Álvaro Balsas, Francisco Gil, J. C. Prata Pina, Liliana Ferreira e H. Helena Alberto.

3.2. Ações realizadas em Escolas

Realizaram-se no corrente ano as seguintes acções:

— «A natureza da luz» (demonstrações com laser) — pelo Prof. Doutor Carlos Fiolhais, no dia 9 de Janeiro na Esc. Sec. Avelar Brotero, em Coimbra.

— «As forças da Natureza» — pelo Prof. Doutor Carlos Fiolhais, no dia 11 de Fevereiro, na Escola Superior de Educação de Castelo Branco.

— «As origens do Universo» — pelo Prof. Doutor Carlos Fiolhais, no dia 6 de Março, na Esc. Sec. n.º 1 de Aveiro; e no dia 11 de Março na Esc. Sec. de Canas de Senhorim.

— «Estrutura da matéria à luz da Mecânica Quântica» — pela Prof.ª Doutora M. Helena Caldeira Martins, e

— «Física Divertida» — pelo Prof. Doutor Carlos Fiolhais, ambas no dia 1 de Abril, na Esc. Sec. de Águeda.

— «Os quarks e a estrutura da matéria» — pelo Prof. Doutor José Nuno Urbano, no dia 15 de Maio, na Esc. Sec. Avelar Brotero de Coimbra.

— «A natureza da luz» — pelo Prof. Doutor Carlos Fiolhais, no dia 6 de Maio na Esc. Sec. D. Duarte; e no dia 7 de Maio na Esc. Sec. de Tondela.

— «Alguns Tópicos de Óptica» (com demonstrações) — pela Prof.ª Doutora M. Margarida Ramalho da Costa, no dia 27 de Maio, na Esc. Sec. de S.ª Maria do Olival de Tomar; e no dia 4 de Junho na Esc. Sec. da Gândara, em Leiria.

— «Universo e partículas» — pelo Prof. Doutor Carlos Fiolhais, no dia 11 de Junho na Esc. Sec. da Lousã; e no dia 12 de Junho na Esc. Sec. de Bernardino Machado, da Figueira da Foz.

3.3. Colóquios

A Delegação realizou, no Departamento de Física da FCTUP, os seguintes colóquios:

— «Materiais Supercondutores» — pela Prof.ª Doutora Maria José Marques de Almeida, em 24-6-87.

— «História e Desenvolvimento da Geometria e suas relações com a Física» — pelo Prof. Doutor Pedro Azevedo Martins, em 1-7-87.

— «O Caos e a Física» (com demonstrações por microcomputadores) — pelo Prof. Doutor Carlos Fiolhais, em 1-7-87.

4. Divisão Técnica de Educação

No dia 20 de Março de 1987 realizou-se na Sede da SPF um debate versando o ensino da Mecânica, organizado pela Div. Técnica de Educação. Compareceram como coloquiantes convidados os Professores J. Marat Mendes, da F.C.T. da Univ. Nova de Lisboa, Teresa Gonçalves, da F. Ciências da Univ. Clássica de Lisboa, Vítor Ferreira, da E. S. Machado de Castro e Jorge Valadares do Colégio Militar, tendo assistido e participado vários outros Professores do ensino secundário e universitário.

No início do debate a Doutora Teresa Gonçalves apresentou algumas conclusões de um inquérito feito a alunos do 1.º ano de Física da Faculdade de Ciências de Lisboa, das quais destacamos:

— Apenas cerca de metade dos alunos que estão a frequentar o curso de Física pretendiam efectivamente tirar esse curso.

— Dos 240 alunos inquiridos, 75 não frequentaram Física no 12.º ano. E apenas 30 cumpriram o programa todo!

— Há alunos que durante os 3 anos do C. Complementar não disfrutaram do ensino da Mecânica.

— No 10.º ano, 44 alunos só deram Química, pelo que não abordaram sequer Mecânica, 32 não se recordavam de nada do que trataram em Mecânica, apenas 16 deram o programa todo e cerca de 80 deram apenas um capítulo desse tema (na grande maioria, apenas cinemática).

— No 11.º ano, os professores verificaram que os alunos não sabiam Mecânica e muitos deles leccionaram-na mas, mesmo assim, 19 alunos não deram Mecânica durante todo o Curso Complementar e 32 alunos não se lembravam de nada do que deram sobre essa matéria.

Uma vez mais, houve unanimidade quanto à urgência de os acessos aos cursos universitários de Física deverem exigir, como habilitação obrigatória, a disciplina de Física do 12.º ano (vejam-se, por exemplo, as conclusões do Congresso de Física de 1984). Com essa obrigatoriedade, evitar-se-ia situações de grande heterogeneidade discente nos primeiros anos das Faculdades, como a que transparece do inquérito atrás referido e melhorar-se-ia o sucesso escolar a esse nível.

Defendeu-se, para além disso, a necessidade de tornar a Física uma disciplina mais atraente, pelo recurso sistemático à observação e experimentação, lamentando-se o facto de os laboratórios de Física serem, em muitas escolas, apenas mais uma sala de aulas, atingindo-se, até, situações caricatas de nesses mesmos laboratórios de Física decorrerem aulas de Inglês, Francês ou Alemão...

À semelhança do que sucedera também no debate sobre Electromagnetismo (ver Gazeta de Física, vol. 10, Fasc. 2, pág. 78), foi bem acolhida por todos a ideia de que os programas do 8.º e 9.º anos deveriam ser trocados entre si, enquanto não se processasse uma reestruturação profunda. Esta deveria envolver o regresso da Física e Química ao 7.º ano de escolaridade e a separação da Física e Química a partir do 10.º ano, com maior número de horas para trabalhos experimentais obrigatórios e avaliáveis.

Certas noções como massa volúmica, equilíbrio nas roldanas e plano inclinado, etc., deveriam ser tratadas, experimentalmente, no 7.º ano de escolaridade.

Realçou-se também a necessidade de formar preparadores de Laboratório e enquadrar, técnica e legalmente, muitos funcionários que exercem essa função.

Preconizou-se o recurso quase sistemático à via indutiva na abordagem dos conteúdos do ensino básico, sem fugir de determinadas noções cinemáticas, estáticas e dinâmicas que são completamente ignoradas a esse nível. Com essa primeira abordagem, fenomenológica e sensorial, assente na experiência dos alunos acerca do mundo, o estudo dedutivo dessas mesmas noções, tal como se faz actualmente no 10.º e 12.º ano, seria muito facilitado.

Finalmente, no que respeita à Física do 12.º ano, com uma quase total incidência na Mecânica, devido à deficiente preparação anterior sobre essa matéria, entendeu-se ser desejável, em termos futuros, aumentar o número de aulas, atrair a esse ano os professores mais experientes e criar diferentes programas segundo as diversas áreas a que os alunos se destinam.

5. Sociedade Portuguesa de Materiais

Decorreram de 21 a 24 de Abril em Braga, nas instalações da Universidade do Minho, o 3.º Encontro Nacional da Sociedade Portuguesa de Materiais, MATERIAIS 87, (dias 21 a 23) e as primeiras Jornadas Ibéricas de Fractura, JIF1, (dias 23 e 24), organizadas pela Secção Técnica de Fractura da SPM e pelo Grupo Espanhol de Fractura. Ambas as realizações foram um êxito, com um total de cerca de 300 participantes e mais de 100 comunicações, sendo de salientar a significativa participação dos nossos colegas espanhóis.

Na Assembleia Geral realizada em Braga a 22 de Abril, aproveitando a grande concentração de sócios presentes, foram eleitos os novos órgãos directivos da SPM (Conselho Directivo, Conselho Fiscal e Mesa de Assembleia Geral) para o biénio 1987-1989.

É a seguinte a constituição do actual Conselho Directivo:

Presidente—Antera Valeriana de Seabra
(LNEC, Lisboa).

Vice-Presidente—Maria Manuela Oliveira
(LNETI, Lisboa).

Secretário-Geral—Mário Adolfo Barbosa
(FEUP, Porto).

Secretário-Geral Adjunto—Gonçálinho Oliveira
(Petrogal, Porto).

Tesoureiro—A. Torres Marques (FEUP, Porto)

6. Conferências, Cursos e Seminários

—3rd Symposium on Pan-American Collaboration in Experimental Physics, 19-23 Outubro 1987, Rio de Janeiro, Brasil.

Inf.: Ms. Regina Oliveira, Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, R. Dr. Xavier Sigaud, 150/5.º, 22290 Rio de Janeiro—RJ, Brasil.

—IV Simpósio Internacional sobre Radioactividade e Radiação Natural, 7-11 Dezembro 1987, LNETI, Sacavém.

Inf.: Dep. de Protecção e Segurança Radiológica, LNETI, Sacavém, Tel. 2550021.

—Coherence in Superconducting Networks, 14-17 Dezembro 1987, Delft University of Technology.

Inf.: Drs. J. E. Mooij, G. Schön, Centre for Submicron Technology, Lorentzweg 1, 2628 CJ Delft, The Netherlands, Telex butud 38151 nl.

—II Seminar on Training Graduate Physics for Industry, 30-31 Outubro 1987, Portsmouth Management Centre.

Inf.: The Meetings Office, The Institute of Physics, 47 Belgrave Square, London SW 1X 8QX.

—European Vacuum Conference, 11-15 Abril 1988, Univ. Salford, U. K. (incl. exhibition and training course).

Inf.: The Meetings Office, The Institute of Physics, 47 Belgrave Square, London SW1X 8QX, Telex: 918453 instp g.

—8 th General EPS Conference of the Condensed Matter Division, 6-9 Abril 1988, Budapeste, Hungria. *Resumos*: até 15 Dezembro 1987; *Inscrições*: até 15 Janeiro 1988.

Inf.: Conference Secretary, Dr. T. Ungár, Institute for General Physics, Eötvös University Budapest, H-1445, Budapest P.O.B. 323, Hungria.

Errata (vol. 10, fasc.º 2)

— Pág. 48, 1.ª coluna, linha 1: 9×10^{16} J (em vez de 9×10^6 J)

1.ª coluna, linha 2: kWh (em vez de khw)

— Pág. 49, 1.ª coluna, linha 2: potência (em vez de energia)

2.ª coluna, linha 20: 9×10^{16} J (em vez de 9×10^6 J).

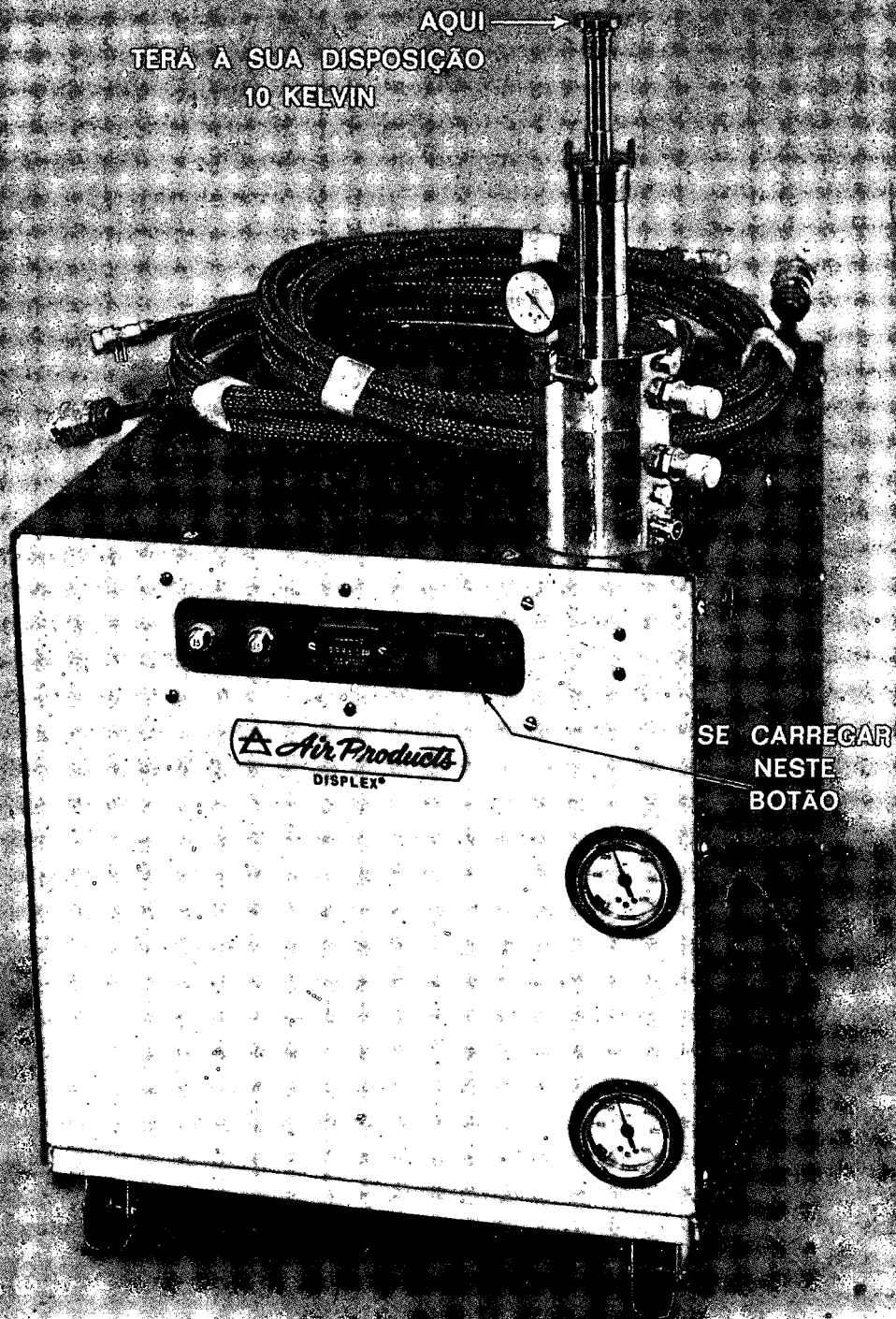
— Pág. 75, Primeiro Encontro Regional sobre o Ensino de Física: vai realizar-se em 10, 11 e 12 de Fevereiro de 1988 (em vez de 1987).

— Pág. 88, 1.ª coluna, linha 18: em vez de «Heisenberg, W. — *A Imagem da Natureza na Física Moderna*, Verbo (1975); merecia ser reeditada...», devia estar:

«Heisenberg, W. — *A Imagem da Natureza na Física Moderna*, Livros do Brasil, s.d.

Heisenberg, W. — *Diálogos sobre Física Atómica*, Verbo (1975); merecia ser reeditada...»

AQUI →
TERÁ A SUA DISPOSIÇÃO
10 KELVIN



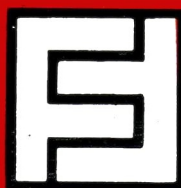
SE CARREGAR
NESTE
BOTÃO

PS. SÓ GASTA ELECTRICIDADE

CRIO LAB

Praça D. Afonso V, 120
4100 Porto • Tel. 682028

EQUIPAMENTO CRIOGÉNICO
E DE LABORATÓRIO, LDA.



VOL. 10 • FASC. 3 • JULHO 1987

SUMÁRIO

Materialismo e Idealismo em Física	81
<i>José Maria Filardo Bassalo</i>	
A Energia ao Serviço da Humanidade	94
<i>Josip Kleczek</i>	
A Teoria da Relatividade no Ensino Secundário. I - A Relatividade Restrita	99
<i>Fernando Cabrita e António Armando da Costa</i>	
Um método para determinar curvas de magnetização e de histerese magnética	108
<i>Luis Cadillon Costa e Sushil Kumar Mendiratta</i>	
3.^{as} Olimpíadas de Física - 87	113
Noticiário da Sociedade Portuguesa de Física	116