

## Sobre o livro de Física para o 3.º ciclo dos liceus

por FERNANDO SEQUEIRA e J. SOUSA LOPES

O «Curso de Física» (para o 3.º ciclo dos liceus) de José A. Teixeira, na sua qualidade de livro único, parece-nos merecer um pouco de atenção. Neste artigo fazem-se sobre ele alguns comentários, à maneira de crítica. Não se trata portanto duma crítica exaustiva — seria necessário demasiado espaço e, além disso, seria inútil. Limitamo-nos a comentar os capítulos iniciais de cada parte: Mecânica, Termodinâmica, Óptica e Electricidade; salientamos contudo que nem mesmo aqui pretendemos fazer uma crítica exaustiva.

### 1. MECÂNICA

À parte o seu valor intrínseco, a Mecânica continua a desempenhar um papel fundamental na preparação dos físicos. É de facto em Mecânica que mais facilmente se definem e aprendem a maior parte dos conceitos que serão posteriormente utilizados em quase todos os ramos da Física. Além disto, a sua estrutura matemática simples e perfeitamente coerente ajuda a formação dum espírito crítico, dum pensamento rigoroso. Para mais, a diversidade imensa das suas aplicações não pode deixar indiferente, nesta época de satélites artificiais e viagens interplanetárias, os espíritos jovens; pelo contrário: deve entusiasma-los, dar-lhes vontade de compreender

e de estudar. Mas, para que seja isto o que na realidade aconteça, existe uma condição necessária: que o livro de base pelo qual devem aprender seja um bom livro.

Infelizmente não parece ser esse o nosso caso, como veremos nos pontos seguintes.

#### 1.1. Cinemática

No capítulo dedicado à Cinemática o autor começa por definir ponto material, e fá-lo nestes termos: ponto material é uma *partícula material sem dimensões*. Não se refere à massa associada ao ponto material, mas afirma que ele representa um *caso-limite da realidade sensível*. Cabe perguntar como se toma este limite — terá o ponto material massa nula ou densidade infinita? Com o conceito mal definido, o aluno não poderá entender a sua necessidade nem as condições em que é aplicável, e decerto que não compreenderá que a Terra se considere como um ponto material quando se estuda o seu movimento de translação.

Parece-nos que a noção fundamental de espaço merecia um pouco de atenção. No livro, porém, depois duma muito breve alusão a sistemas de referência, o autor passa a utilizar a palavra «espaço» com o sentido de comprimento da trajectória percorrida por um móvel. O aluno poderá então perguntar qual

o espaço percorrido por um passageiro sentado num comboio em movimento — esse espaço será nulo ou igual ao produto da velocidade do comboio pelo tempo decorrido? E qual é a sua trajectória?

\*

Afirma-se, quando se trata do movimento uniforme, que o espaço percorrido na unidade de tempo *mede* a velocidade. Mas, que sentido tem dizer que um espaço mede uma velocidade?

Expressões análogas encontram-se ameudadas vezes: por exemplo, diz-se que um ângulo (sem dimensões) mede uma velocidade angular (com dimensões). Tudo isto parece um pouco mais do que abuso de linguagem.

\*

Chega-se depois a um parágrafo onde se pretendem definir grandezas físicas escalares e vectoriais. Afirma-se: *Há grandezas físicas que ficam completamente determinadas por meio dum valor numérico; chamam-se grandezas escalares.* É falso; para mais, confunde-se uma grandeza física com a sua medida (o que é sistemático ao longo do livro), e declara-se tácitamente que é supérfluo o conhecimento das unidades em que esta se faz.

Na definição de grandezas vectoriais o autor acrescenta a definição anterior afirmando: *é indispensável também referir a direcção e o sentido em que actuam.* Exemplifica com o *deslocamento* de um ponto. Pergunta-se: como actua um deslocamento? As grandezas físicas são sempre, por definição, seres actuautes? Além disso, não basta acrescentar a direcção e o sentido; por exemplo, para uma força é necessário também saber qual o ponto de aplicação.

\*

Ao considerar a composição de velocidades o autor refere-se a *velocidades angulares*; neste passo a expressão indica não o conceito habitual a que se dá esse nome, mas sim dois

vectores velocidade que fazem um ângulo entre si (adiante, no capítulo dedicado à Estática, usa-se a expressão *forças angulares* no mesmo sentido). Não nos parece correcta esta designação; aliás define-se posteriormente a usual velocidade angular.

\*

Duma maneira geral, a forma como os problemas são postos não é correcta. Por exemplo, ao estudar a composição de movimentos, o autor não define o que se entende por isso; ou, ainda melhor, por decomposição dum movimento: qualquer em dois (ou mais) movimentos rectilíneos. Em consequência, é depois conduzido a frases menos correctas; por exemplo: *suponhamos que um ponto material é solicitado simultaneamente a adquirir às velocidades  $\vec{O}\vec{V}_1$  e  $\vec{O}\vec{V}_2$ .*

## 1. 2. Estática

Neste capítulo, o autor começa por afirmar que *três forças equilibram-se quando estão entre si, em grandeza e direcção, como os lados dum triângulo.* Falta pelo menos indicar o respectivo sentido. Mas, pergunta-se, acaso sabem os alunos o significado da expressão *três forças equilibram-se?* Certamente que não; no mínimo seria necessário dizer-lhes que se admite o princípio da sobreposição de forças aplicadas a um mesmo ponto. Sem referência a este princípio a formulação não é correcta.

\*

O autor anuncia depois o que chama o princípio fundamental da Estática. Mete no mesmo enunciado o que respeita ao ponto material e ao sólido indeformável. Desta maneira, não se faz referência ao princípio da acção e reacção, e o aluno jamais compreenderá que é este o princípio, a que o autor se referê apenas no capítulo dedicado à Dinâmica, que permite fazer a passagem da mecânica do ponto material à dos sistemas compostos. Por fim, a pergunta: que prin-

cípio fundamental é este? Dado que a Estática é um caso particular da Dinâmica (para  $j = 0$ ), será necessário acrescentá-lo às leis de Newton?

\*

Mas, pouco depois, o autor pretende estudar o equilíbrio dos sólidos indeformáveis com um ponto ou um eixo fixos. Conclui que os corpos estão em equilíbrio quando o momento das forças aplicadas, em relação ao ponto ou ao eixo fixos, for nulo. Está certo; o que duvidamos é que o aluno entenda a relação entre este novo princípio e aquele que o autor designou por princípio fundamental da Estática.

\*

A formulação geral deste capítulo é pois incorrecta. Apesar disso vejamos ainda, a título de exemplo, um ponto particular da sua exposição.

Quando trata do momento duma força o autor utiliza a certa altura a expressão *poder giratório ou efeito rotativo de uma força* (que aliás, mesmo no seu entender, não depende só da força). Não compreendemos esta expressão: primeiro porque a aceleração motivada por uma força tem a direcção dessa força; depois, se a força é constante, o móvel descreverá uma trajectória-recta. Na verdade, o autor considera o caso de um móvel com um ponto fixo — portanto um movimento daquele tipo é impossível. Mas, não tratando o autor o problema dos corpos suspeitos a ligações (em termos de forças) que sentido faz aquele pedaço de texto?

Podem pois dispensar-se comentários adicionais a este capítulo do livro.

### 1. 3. Dinâmica

A primeira coisa que surpreende na enumeração dos princípios fundamentais da Dinâmica é a não indicação dos sistemas de referência em que tais princípios são válidos. Em geral, o 1.º princípio tem o seguinte significado: «existe um sistema de referência

no qual os corpos não sujeitos a forças têm aceleração nula»; e é neste sistema que é válido o segundo princípio.

O autor, porém, não lhe dá este significado, pois que afirma concretamente que o 1.º princípio é um caso particular de  $f = mj$ , para  $f = 0$ . Sendo assim, fica por definir um sistema de referência onde se verifique o 2.º princípio; tal sistema não é arbitrário: é óbvio, por exemplo, que  $f = mj$  não é uma expressão verdadeira num sistema de referência ligado a um móvel — para esse móvel seria sempre  $f = 0$ , independentemente da força que lhe estivesse aplicada. Por outro lado, *definindo* convenientemente um sistema inercial, a preposição citada desce do seu lugar de princípio, passando a ser efectivamente uma particularização de  $f = mj$ .

\*

À parte o anterior, que mostra a deficiência geral da exposição do autor, são porventura úteis os comentários seguintes.

No 3.º princípio fala-se apenas em acção e reacção: pergunta-se, o que significam estes termos? São forças?

O 2.º princípio vem com o título de *princípio da independência dos efeitos das forças*. Embora não seja usual designar-se este por 2.º princípio, não é este o reparo que pretendemos fazer: com efeito é necessário um princípio que nos afirme a independência das forças. O que é falso é que dele se deduza a proporcionalidade das forças às acelerações. Além disto, convém frisar, já que o autor não usa a linguagem vectorial, que essas acelerações têm a direcção das forças que as motivam.

\*

Referindo-se à relação fundamental  $f = mj$ , o autor afirma que  $m$  é a massa (não especificando que é a massa inerte) e até conclui experimentalmente que  $m$  é a *quantidade de matéria do corpo*.

Depois, tratando da relação entre peso e aceleração da gravidade, aplica a lei  $f = mj$

como se a terra fosse um sistema inercial. E assim se confundem num só os conceitos de massa inerte e massa pesada.

## 2. TERMODINÂMICA

Esta parte do Curso, à parte uma introdução histórica, tem apenas dois capítulos. Para facilidade de referência tratá-los-emos separadamente.

### 2. 1. Primeiro princípio

Há, como se sabe, várias maneiras diferentes de enunciar o 1.º princípio, e dizer qual delas é a mais conveniente é em parte subjectivo. Admitindo o princípio da conservação da energia como um princípio geral para toda a Física, o 1.º princípio da Termodinâmica pode enunciar-se assim: «o calor é uma forma de energia». Isto basta; mas prefere-se por vezes acrescentar, para enunciar tudo o que é necessário admitir, «num sistema isolado a energia conserva-se».

Desta maneira fica imediatamente claro o que diz o 1.º princípio. E podemos medir a quantidade de calor, necessária para elevar de 1º C a temperatura de um corpo, directamente em erg ou joule. Para quê usar, em livros de física, a caloria — que só serve para complicar as fórmulas com a introdução de factores numéricos (e sugerir que o calor não é uma forma de energia)? Se convém esclarecer qual é o valor em erg duma caloria, é apenas porque essa unidade se usa nas aplicações\*.

\*

Posto isto, o autor enuncia o 1.º princípio duma forma demasiado complicada: *Sempre que um sistema material sofra qualquer*

\* Convém notar que, em desacordo com o livro, se define a caloria como sendo igual a  $4,185 \times 10^7$  erg; e que esta definição é independente da medida sempre aproximada da energia necessária à elevação da temperatura de dado corpo.

*transformação em que haja entre o sistema e o meio exterior apenas trocas de calor e de trabalho e em que volte exactamente ao estado inicial: (a) se o sistema absorveu calor cedeu trabalho; (b) se o sistema recebeu trabalho libertou calor; (c) existe uma razão constante entre o trabalho e o calor postos em jogo.*

A seguir o autor procura o valor desta razão constante e diz: *representando por W o trabalho que, por transformação, produz a quantidade de calor Q, podemos então escrever*  $J = \frac{W}{Q}$ . Mas quem pode, apenas ba-

seado naquele enunciado do 1.º princípio, concluir que aquela quantidade de calor Q é produzida pelo trabalho W? Consequentemente, dizer que J é o trabalho produzido integralmente por uma unidade de quantidade de calor é pelo menos prematuro na altura em que o autor o faz; além disso, não é o calor que produz o trabalho, mas sim o sistema.

Incorrecções análogas aparecem na sequência. Fala-se, por exemplo, nestes termos: *Ao desaparecimento de uma certa quantidade de trabalho corresponde o aparecimento de uma quantidade de calor equivalente.*

E, por fim, o autor afirma: *Considera-se muitas vezes o princípio da conservação da energia como o 1.º princípio da termodinâmica.* Não se faz aqui referência ao calor como uma forma de energia, isto é, despreza-se a parte essencial daquele princípio.

### 2. 2. Segundo princípio

O autor abre este capítulo afirmando: *uma máquina térmica transforma calor em trabalho.* Talvez por isso afirma mais à frente que *uma máquina frigorífica é uma máquina térmica a trabalhar em sentido contrário.*

\*

Quanto ao 2.º princípio não podemos concordar com o seu enunciado. Concretamente este enunciado é uma mistura do 2.º princípio e de suas consequências; basta efe-

tivamente afirmar: *uma máquina térmica só pode produzir trabalho se dispuser de duas fontes de calor a temperaturas diferentes.* O resto está a mais. O rendimento de que fala o autor é uma noção que se define posteriormente.

Segue-se depois uma descrição de algumas máquinas. Não sabemos qual a intenção disto: se uma descrição do funcionamento, ou se uma descrição explicada com base nos princípios da Termodinâmica. Parece-nos que só esta hipótese tem sentido; o autor é, porém, doutro aviso — e o aluno deve ficar sem compreender, por exemplo, onde estão as tais fontes quente e fria num motor de automóvel.

O último parágrafo é intitulado *degradação da energia*. Nele se afirma a certa altura o seguinte: *E os dois princípios — o 1.º e o 2.º — podem ficar abrangidos pelo seguinte enunciado de carácter muito geral: num sistema isolado a energia total conserva-se constante mas a energia utilizável diminui.* Gostaríamos primeiro de saber exactamente o que é *energia utilizável* que parece estar sempre diminuindo, dado que o autor a não define. Mas, em todo o caso, é completamente falso que o 1.º e o 2.º princípios fiquem abrangidos por aquele enunciado. Em consequência, o aluno deve ficar sem ideia alguma sobre a Termodinâmica e seus princípios.

### 3. ÓPTICA

Esta parte do livro abre com algumas considerações sobre as teorias da emissão e ondulatória da luz. A este respeito o autor afirma que a experiência de Foucault deu o *golpe de morte na teoria da emissão*. Diremos que achamos a expressão um tanto violenta: como conseguirá o autor explicar, por exemplo, o efeito foto-eléctrico senão através de uma teoria corpuscular da luz?

Ainda na introdução, o autor, depois de afirmar que a existência do éter nunca foi revelada por qualquer processo, afirma que na teoria electromagnética de Maxwell se considera uma *variação periódica do estado eléctrico e magnético das partículas do éter*. Que se deve entender por isto?

Façamos agora alguns comentários sobre os capítulos iniciais.

#### 3.1. Fotometria

O autor começa por tentar definir intensidade luminosa, dizendo que é *a grandeza que mede o poder iluminante*; quanto a este apenas afirma que *nem todas as fontes luminosas têm o mesmo poder iluminante*. Emprega também o vocábulo *iluminação*; e diz que *a intensidade de iluminação é uma grandeza estreitamente relacionada com a intensidade luminosa duma fonte*. Afirma ainda que *uma superfície fica tanto mais intensamente iluminada quanto maior é a quantidade de luz que recebe*, acrescentando que *a intensidade de iluminação é a grandeza que mede de certo modo esta quantidade de luz*.

É claro que tudo isto é incompreensível. Tomemos, por exemplo, o último período. Que significa quantidade de luz? Uma coisa é certa: a intensidade de iluminação não a mede de modo algum, contrariamente ao que se afirma no livro. É claro também que são incompreensíveis as restantes passagens em que se fala em quantidade de luz, por exemplo, na lei de Lambert.

Quando trata de padrões de intensidade luminosa o autor define várias unidades; é curioso, no entanto, verificar que não define a unidade um uso desde 1940.

No problema de comparação de intensi-

dades luminosas o autor refere-se a um *principio dos fotómetros*. Trata-se duma aplicação simples da lei de Lambert. Porque não se explica isto em vez de se arranjamem princípios que só servem para distrair a atenção das coisas fundamentais?

### 3. 2. Reflexão da luz e espelhos esféricos

A Fotometria segue-se um capítulo dedicado à reflexão da luz. O autor admite que as leis da reflexão são conhecidas e trata apenas de aplicações. Uma vez mais afirma que *os raios luminosos não têm existência real; o que existe são as ondas luminosas*. É uma maneira (discutível) de dizer. Mas o facto é que todos os fenómenos que neste livro se pretendem explicar, se explicam à base de raios luminosos; desses fenómenos, quais conduzirão os alunos a pensar forçosamente em ondas de luz (\*)? Para mais o efeito fotoeléctrico (que se cita no livro) nunca poderá ser entendido em termos de ondas. Não haverá processo de pôr estas coisas a claro?

Depois, que sentido terão para um aluno expressões como *reversibilidade dos raios luminosos*?

Passando ao capítulo dos espelhos esféricos, depois de atravessarmos as nove definições iniciadas seguidas, e de decifrarmos expressões tais como *raios incidentes que acompanham o eixo principal*, põem-se-nos várias questões.

A teoria dos espelhos é desenvolvida pelo autor admitindo *a priori* que a imagem de um ponto é também um ponto — sem mostrar que isso só é verdadeiro dentro de certa afirmação, e em determinadas condições. Assim deduz a equação dos focos conjugados, afirmando depois que está considerando espelhos aproximadamente estigmáticos. É evidente que desta forma os alu-

nos não podem entender como se chegou à equação dos focos conjugados, e muito menos porque é que esta só é válida para espelhos aproximadamente estigmáticos.

A questão dos pontos reais e virtuais, apesar de muito simples, carece duma explicação cuidada. Supomos que admitir que o aluno tem disso uma ideia clara é contrário aos factos.

Depois de obter a equação dos focos conjugados para os espelhos esféricos, o autor aplica essa fórmula a seis casos particulares. Convinha talvez fazer notar (até porque, depois de se falar em convenção de sinais a propósito da dita equação, o aluno será levado a generalizar indevidamente) que se está tratando apenas de espelhos côncavos; aliás o exercício que se segue conduz ao mesmo erro.

## 4. ELECTRICIDADE

Como nas restantes partes do livro, também aqui a exposição é deficiente, a linguagem menos correcta. Porém esta análise vai demasiado longa, e parece não haver já muito interesse em continuá-la. Por isso só muito rapidamente nos referiremos a alguns pontos dos capítulos iniciais.

### 4. 1. Campo eléctrico e potencial

Depois de afirmar que o campo eléctrico é um campo newtoniano, o autor diz que a *força eléctrica é uma acção a distância, isto é, nenhum meio material lhe serve de intermediário*. Em geral não é isto o que se entende por *acção a distância*; basta recordar que dizer «dois corpos actuam à distância» é sinónimo de «a velocidade de propagação da interacção entre os dois corpos é infinita».

(\*) Cita-se de passagem a questão da velocidade da luz na água. Não cremos porém que isso leve a pensar em termos de ondas.

Neste contexto, pode dizer-se que o conceito de campo foi introduzido precisamente para evitar o conceito de acção a distância, que a experiência tinha mostrado ser falso.

Logo a seguir o autor define intensidade de campo num ponto dizendo que é *a força eléctrica que se exerce sobre a unidade de carga positiva colocada nesse ponto*. Claro que a intensidade de campo não é uma força; uma vez mais se confunde uma grandeza com um processo de medida. Mais à frente há incorrecções similares; por exemplo: *a intensidade de campo executa o trabalho de 1 erg*.

Referindo-se a linhas de força, o autor afirma que em cada ponto do campo passa uma linha de força; logo depois diz que *as linhas de força representam graficamente as características do campo: onde elas mais se adensam é maior o valor da intensidade do campo; onde se rarefazem é menor*. Desta maneira isto é obviamente incompreensível — se por cada ponto passa uma linha, como se adensam ou rarefazem? Para terminar esta passagem diz o autor: *cada linha de força representa a direcção e o sentido em que uma carga positiva abandonada exclusivamente à acção do campo eléctrico se deslocaria* — o que é falso para qualquer partícula real, de massa não nula.

Mais à frente afirma-se que *a definição do campo eléctrico pode ser feita a partir duma grandeza escalar — o potencial*. É o tipo de afirmação em que é preciso certo cuidado — se houvesse sempre aquela possibilidade seriam falsas as leis da indução. Seria pois de desejar um esclarecimento do assunto — o que o autor não faz, mesmo quando trata da indução electromagnética.

Quando pretende deduzir uma expressão para o potencial o autor considera dois pontos,  $B$  e  $B_1$ , próximos um do outro; e diz que podemos supor que *a intensidade do campo tem um valor constante e igual à média geométrica dos valores em  $B$  e  $B_1$* . E porque não a média aritmética? Claro que o aluno não poderá entender aquela suposição.

De facto, ela pode fazer-se quando se pretende determinar a diferença de potencial entre dois pontos a distância finita: divide-se então essa distância em intervalos nos quais se admite que o campo toma um valor intermédio dos valores nos extremos. Fazendo tender estes intervalos para zero (e o seu número para infinito) é óbvio que é indiferente a média que se toma para o cálculo do trabalho realizado pelo campo — qualquer valor do intervalo serve.

#### 4.2. Capacidade. Máquina de Van de Graaff.

O autor começa por definir a capacidade de um condutor isolado no espaço, com forma e dimensões determinadas. Depois faz a descrição de várias experiências, pretendendo mostrar que a capacidade de um condutor aumenta quando aumenta a sua superfície externa, etc. Essas experiências são feitas com electroscópios ou dois pêndulos; afirma-se que quando o potencial do condutor aumenta, os dois pêndulos ou as duas folhas do electroscópio se afastam. No entanto não foi dada nenhuma explicação para este fenómeno: os alunos limitam-se a saber que os dois pêndulos se afastam quando a sua carga aumenta; como o autor afirma que a carga permanece constante ficarão certamente sem compreender nada.

Ao tratar da influência dum dieléctrico no valor da capacidade, afirma-se: *podemos definir a constante dieléctrica de uma substância*

cia, como a razão entre a capacidade de um condensador que tem por dieléctrico essa substância, e a capacidade do mesmo condensador quando o dieléctrico é o vazio. Daqui concluímos evidentemente que a constante dieléctrica é um número puro. Uma vez mais se esquecem as dimensões.

\*

Ao tratar da máquina de Van de Graaff, o autor classifica as máquinas electrostáticas em duas categorias: de fricção e de influência. Mas a qual dos tipos pertencerá a máquina de Van de Graaff?

Mais curioso porém é esta insólita afirmação: *nalgumas máquinas os investigadores trabalham dentro da esfera oca, ficando assim isentos do perigo das descargas.* Talvez que durante a construção das esferas mais antigas isso se tivesse alguma vez passado;

depois pôs-se uma variedade de acessórios no interior das esferas e não cabe lá ninguém. Mas, mesmo se coubesse, quem se poria lá, a 10 milhões de volts? Seria de facto uma gaiola de Faraday: não se morria por efeito de descarga eléctrica — apenas mais lentamente, por efeito das radiações ionizantes.

## NOTA FINAL

A conclusão a tirar de tudo o que ficou dito é evidente. Talvez que a existência de Cursos como o do PSSC(\*) facilite a urgente tarefa de dar aos estudantes do 3.º ciclo liceal um livro de Física respeitador das suas capacidades intelectuais.

(\*) Physical Science Study Committee. Existe uma tradução deste Curso em espanhol, com o título: Física.

## Sur quelques propriétés géométriques du groupe des rotations

par GEORGES LOCHAK

(Laboratoire Joliot-Curie de Physique Nucléaire, Orsay;  
Institut Henri Poincaré, Paris)

### 1 — Introduction

Il arrive souvent qu'on puisse, parmi les propriétés d'un corps, trouver un certain nombre de propriétés « moyennes » qui permettent de définir, avec plus ou moins de légitimité, un système d'axes liés à ce corps. Il arrive dès lors, que d'importants aspects de son comportement soient liés aux seuls rotations qu'effectue ce corps, ou plutôt le système d'axes qu'on lui a rattaché, par rapport à un système de référence convenablement choisi.

De telles circonstances se retrouvent, comme on sait, dans de nombreux et importants problèmes de physique qui vont de la

théorie du gyroscope à celle des particules élémentaires en passant par les spectres moléculaires et la structure du noyau atomique.

Ainsi s'expliquent les efforts des physiciens en vue de mieux connaître et mieux utiliser le groupe de rotations.

Peut être n'est-il pas inutile, en revanche, de remarquer que les succès mêmes de cette théorie et la propension des hommes à utiliser les idées anciennes plutôt qu'en chercher de nouvelles, pousse parfois les physiciens à quelque exagération dans leur recherche à tout prix, dans tout corps matériel, d'un comportement global qui le plie aux exigences du groupe des rotations.