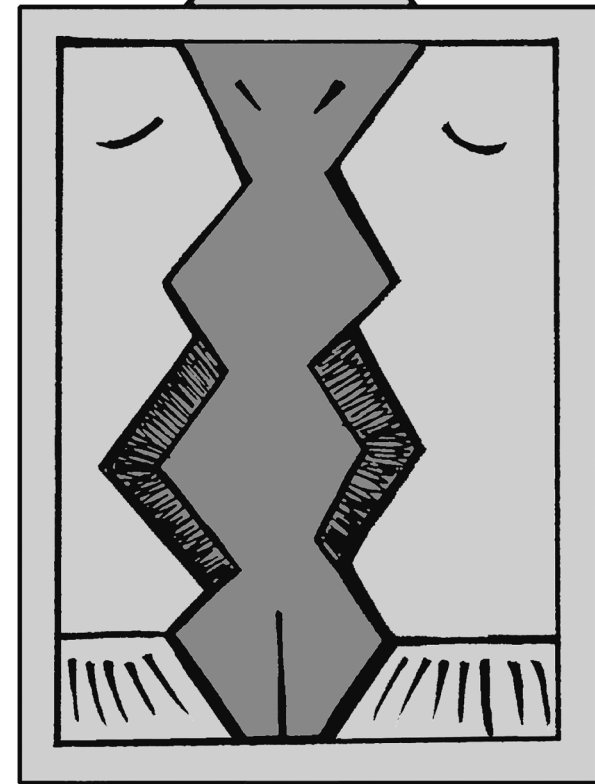


ἘΝΔΟΞΑ



UNED Editorial

ISSN 1133-5351
9 771133 535004 02610

UNED

Series

Filosóficas

Nº 26

QUANTUM ACTIONIS SEGUNDO PLANCK: ENTRE AS CONSTANTES E AS VARIÁVEIS DA MECÂNICA QUÂNTICA*

QUANTUM ACTIONIS ACCORDING TO M. PLANCK: BETWEEN CONSTANTS AND VARIABLES BY THE QUANTUM MECHANICS

Ramiro Délio BORGES DE MENESES

*Instituto de Bioética da Universidade Católica Portuguesa-Centro
Regional do Porto*

RESUMO: O *quantum actionis* é a constante, descoberta por M. Planck, mais marcante e com maior significado, em toda a física, dado que permitiu estabelecer a ligação entre o microcosmos e o macro, de forma métrica. Quer a Mecânica Quântica, quer a Astrofísica Moderna dependem desta constante fundamental da natureza física. Se são muitas as implicações desta constante no mundo da Física Quântica, não menos serão fenomenologicamente na nossa vida diária. Sta constante trouxe-se uma nova forma holística de ver o mundo e as suas estruturas. É, de longe, a constante que mais marca o sentido epistemológico e ontológico, para as ciências da natureza.

PALAVRAS-CHAVE: *Quantum Actionis*, Leis da Física, Mecânica Quântica e M. Planck.

ABSTRACT: The M. Planck's *quantum actions*, as a tool for the physicist's study of the very creative science, play a most important role to describe the physical event by the inde-

* *In memoriam* do Padre Vitorino M. de Sousa Alves, S. J., (08/01/2002), de quem fui assistente, entre 1974-1976, de Filosofia da Física e Cosmologia, na Faculdade de Filosofia de Braga, Universidade Católica Portuguesa.

terministic metric. With this very famous constant of Quantum Mechanic, there are so many possibilities to read and to write the nature according to the holistic elements. Meanwhile I clarify the quantum extent of this constant in your epistemological influence and also demonstrate by the Quantum Physic where M. Planck goes to solve the ontological and gnoseological questions of scientific objects postulated by the Nature's Laws.

KEYWORDS: *Quantum Actionis*, Nature's laws, Quantum Mechanics, and M. Planck.

Introdução

Max Planck, quando anunciou a teoria dos *quanta*, a 14 de Dezembro de 1900, era professor de Física na Universidade de Berlim. É esta efeméride secular e centenária que homenageamos na busca de uma síntese sobre os *quanta* e sua reflexão filosófica, apresentando as implicações e o sentido de uma das mais famosas teorias do século XX.

A teoria dos *quanta* ($\mathcal{E} = h\nu$) fora publicada nos «Annalen der Physik», Leipzig, pelo físico germânico, em 1901.

M. Planck parecia não acreditar na teoria que descobrira, merecendo, contudo, o Prémio Nobel da Física em 1918¹.

A partir do segundo princípio da Termodinâmica, pela hipótese do «corpo negro», surge a teoria dos *quanta* que fora o tema da tese de doutoramento, aos 21 anos, em 1879, na Universidade de München.

Assim, Max Planck conseguiu, através da «Gedankenexperiment», num rasgo de intuição, uma fórmula que descreveria todas as frequências espectrais. Mas, era uma simples equação matemática, ($\mathcal{E} = h\nu$), como expressão fundamental e o resumo da teoria, que se encontra gravada, em sua memória, no túmulo do cemitério de Goettingen.

¹ Darrow, K. K. «The Quantum Theory», in *Scientific American*, March, New York, 1952, 47-50.

Tentando entender a fórmula, anunciou, com efeito, há cem anos a sua hipótese física. Segundo o físico germânico, a radiação é emitida pelas paredes do «forno» (corpo negro), não com uma energia qualquer, mas, antes, em «quantidades discretas» ou em quantidades bem definidas para cada uma das frequências. Paradoxalmente, em oposição à física clássica, essas quantidades chamam-se *quanta* ($h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$), definidas na criação de uma nova constante para a física, denominando-se *quantum actionis* ($h = h/2\pi = 6,247 \times 10^{-27} \text{ erg} \cdot \text{s}$)².

É esta teoria que, em boa hora, apresentamos na sua expressão físico-matemática, através da confirmação experimental, terminando nas implicações epistemológicas da teoria dos *quanta*.

1. Quantum Actionis: da intuição à teoria

Nos últimos anos do século XIX, Planck confrontou-se com dados experimentais, relacionados com o problema do corpo negro. Todo o corpo negro é um emissor de luz ou radiação. De forma simples funciona como um forno com pequeno orifício.

Assim, o *corpus nigrum* da física surge como um corpo que absorve e não reflecte qualquer radiação visível que nele incida. Trata-se, pois, de um «conceito abstracto», implícito nos corpos, que será uma aproximação ao Corpo Negro. Não existe, portanto, na natureza nem nas suas extensões. Tratar-se-á de um objecto que não reflecte qualquer radiação electromagnética.

Uma adequada aproximação do «corpo negro» realiza-se por um pequeno orifício, operado num corpo opaco e oco, cujas paredes são absorventes. Toda e qualquer radiação, que nele penetre, é quase toda absorvida por inúmeras reflexões, voltando a sair apenas uma parte³.

² Kane, J. W.; Sternheim, M. M. *Physics*, third edition, J. Wiley et Sons, New York, 1987, 653-664; Hamerka, H. F. *Quantum Mechanics*, John Wiley & Sons, New York, 1981, 63-65.

³ Andrade, J.; Silva, E.; Lochak, G. *Quanta*, World University Library, McGraw-Hill Book, New York, 1969, 15-28; Doering, W. *Einfuehrung in die Quantum Mechanik*, Vandenhoeck and Ruprecht, Goettingen, 1955, 171-198.

Com efeito, a obtenção de um verdadeiro «corpo negro» era indispensável em virtude da sua extraordinária importância quer na ordem teórica quer na prática. Qualquer corpo, independentemente do que reflecte, provoca a emissão do espectro da radiação, que se estende tanto mais, para altas frequências, quanto mais elevada a temperatura.

Logo, à medida que esta sobe, atinge-se o infravermelho, o vermelho, o azul, o ultravioleta e, assim, sucessivamente.

Dado que o corpo negro nada reflecte, então irradia um espectro de radiação que será função da temperatura. Wien apresentou a seguinte lei:

$$Ev = v^3 F(v/T)$$

Na verdade, esta lei determina a intensidade da radiação em função da frequência.

O «corpo negro» foi denominado —radiador integral— por ser aquele, cujo valor para não pode ser ultrapassado por outro corpo ao irradiar tanto menos, quanto melhor transmitir.

Com efeito, a função $F(v/T)$ foi determinada por Rayleigh, seguindo a teoria electromagnética, segundo a qual, como na teoria ondulatória, a matéria pode emitir ou absorver radiações em quantidades que podem variar continuamente.

Curiosamente, M. Planck provou que, segundo altas frequências, a experiência determina, para , uma expressão da forma:

$$\frac{h}{e^{bv/kT} - 1}^4$$

Sendo « h », a constante de Planck, que tende para «zero», surge mais depressa sempre que v , se aproxime de ∞ . Todavia, para baixas frequências, coincide com a lei de Rayleigh-Jeans.

⁴ Planck, M. *Vorlesungen ueber Thermodynamik*, Guyther, Goettingen, 1879, 148-205.

Porém, para que $F(\nu/T)$ apresenta esta forma, é necessário supor que o «corpo negro» só poderá emitir ou absorver radiações de modo «discreto», como se fossem pequenas unidades de energia ($h\nu$) ou *quanta*.

A física clássica, ao falar da emissão ou absorção de energia, refere que um corpo só pode emitir ou absorver energia de forma contínua.

Assim, a emissão e a absorção de energia radiante, pelo corpo negro, segundo a teoria clássica, originou discrepâncias com a lei de Rayleigh-Jeans, sobretudo no domínio dos pequenos comprimentos de onda, como o ultravioleta, conhecidos pela designação de «catástrofe do ultravioleta»⁵.

No sentido de se ultrapassarem estas dificuldades, Max Planck (1900) admitiu que a emissão ou absorção de energia radiante pelos corpos se faz de forma descontínua (unidades discretas). Daqui se determina que a energia do oscilador atómico não pode tomar qualquer valor, mas *scilicet* como múltiplos inteiros de determinada quantidade de energia, que se representa por $-E$, designando-se por *quanta* de energia.

M. Planck admitiu abstractamente $E = h\nu$, sendo $-h-$ uma das «constantes universais» que ficou com o nome de «constante de Planck», onde ν será a frequência da radiação emitida ou absorvida. O valor presentemente aceite para «constante de Planck» será: $h = 6,6256 \times 10^{-27} \text{ erg} \cdot \text{s}$.

Max Planck anunciou a hipótese física: a radiação é emitida pelas paredes do «forno», não com uma qualquer energia, mas em quantidades definidas para cada frequência. Essas quantidades são os *quanta*⁶.

A referida hipótese implica apenas que a emissão ou absorção de energia radiante pela matéria é «discreta».

Mas, ela foi enquadrada como «teoria quântica», seguindo-se a teoria atómica, que se desenvolveu com N. Bohr e teve o seu apogeu, em 1926, sob o impulso de jovens como W. Heisenberg, P. Dirac, E. Schroedinger e M. Born, criadores da Mecânica Quântica.

⁵ Gasiorowicz, S. *Quantum Physics*, J. Wiley and Sons, New York, 1974, 102-112.

⁶ Greiner, W. *Quantum Mechanics*, special chapters, Springer-Verlag, Berlin, 1989, 13-29.

Assim, para interpretar alguns fenómenos, como o efeito fotoeléctrico e o efeito de Compton, atribui-se uma estrutura descontínua à luz⁷.

Entretanto, admitiu-se que a energia radiante é constituída por corpúsculos de energia *a posteriori* designados de «fotões».

O passo seguinte, à teoria dos *quanta* de Planck, pareceu óbvio, mas demorou cinco anos e exigiu a intervenção de Einstein. A luz não só é emitida aos «soluços», como existe aos «soluços». Significa que a luz existe no «forno», em unidades discretas, como fotões ou «grãos de luz».

Esta foi a explicação dada por A. Einstein, em 1905, para o «efeito fotoeléctrico», que, descritivamente, consiste em arrancar electrões de um metal pela acção da luz.

Assim o trabalho de Planck mais importante surgiu, em 1900, quando apresentou a «hipótese» (da emissão e da absorção) da radiação por *quanta* de energia ($\epsilon = h\nu$), fundamentada na análise da radiação e emitida pelo «black body». A teoria dos *quanta* levou alguns anos a ser aceite. Todavia, a aplicação das ideias de A. Einstein, em 1905, para explicar o efeito fotoeléctrico e o sucesso da teoria de N. Bohr do átomo de hidrogénio (H_1^1), em 1913, mostraram o significado das ideias de Planck. Em 1922, o efeito de Compton revelou-se como prova da realidade do fotão na ordem experimental⁸.

Tal como apresentou nos «Annalen der Physik», Leipzig, vol. III, 1901, com o título: «Ueber die elementar quanta der materie und der elektricitæet», M. Planck salienta a famosa «constante da física», que relaciona a mais pequena porção de energia de uma radiação de frequência ν «emitida ou absorvida». A equação decifra a expressão físico-matemática que define o *quantum actionis* da energia.

⁷ Compton, A. «The Scattering X-rays as particles» in *American Journal of Physics*, December, New York, 1961, 817-820.

⁸ Telliz-Arenas, A. *Mécanique Quantique*, travaux dirigés, Masson et Cie, Paris, 1976, 15-27; Bialynicki, B.; Cieplak, M.; Kawinski, J. *Theory of Quanta*, translated by A. M. Furdyna, Oxford University Press, New York 1992, 10-25.

Contrariando a teoria electromagnética de Maxwell, que considerava a emissão e a absorção da radiação de forma contínua, Planck chegou à conclusão que tais processos devem ocorrer apenas em porções discretas ou *quanta* de energia.

Resumidamente, a teoria clássica da radiação do «corpo negro» falhava rotundamente para altas frequências. Não obstante, num golpe de génio, Planck conseguiu uma fórmula que descrevia todas as frequências. Mas, foi apenas matemática. A confirmação experimental da intuição vem longe no tempo.

A teoria de Planck deu corpo e alma à Mecânica Quântica, axiomatizada e apresentada nas funções de onda que governa o comportamento dos sistemas físicos, cuja acção ou momento cinético será da ordem de grandeza da «constante universal» de Planck —*quantum actionis*—⁹.

M. Planck propôs, para derivar a teoria da radiação do «corpo negro», um modelo no qual as paredes da câmara fossem cobertas por um conjunto de osciladores harmónicos, que estão em equilíbrio térmico com as ondas de radiação electromagnética dentro da câmara. Em defesa de tal modelo, M. Planck argumentou que a estrutura das paredes da câmara não se sentem afectadas pela radiação do «black body».

O primeiro passo dos cálculos de Planck estão de acordo com a relação entre a densidade de energia $\rho(\nu, T)$ de uma radiação monocromática e a energia aleatória de um oscilador.

Entretanto, M. Planck arguiu que era necessário considerar não só a energia de um oscilador, como também a entropia.

Assim, o volume da cavidade permanece «constante», seguindo a equação de Wien:

$$\ell(\nu, T) = a(8\nu^3/c^3) \exp(-b\nu T), \text{ bem como: } \ell(\nu, T) = 8\pi\nu^2/c^3 U$$

⁹ Thirring, W. *Einfuehrung in die Quantenelektrodynamik*, Franz Deuticke, Wien, 1955, 36-49.

Surgirá, pois, $U = a\nu \exp(-b\nu T)$.

Expressando T em termos de U , encontramos: $T^{-1} = -(b \cdot \nu)^{-1} \ln a\nu/U$.

Porém, substituindo esta expressão, na equação $dS/dU = 1/T$, encontramos a seguinte equação:

$$\frac{dS}{dU} = -1/b\nu \ln U/a\nu$$

Elaborando a diferenciação, relativamente a U , inferimos:

$$d^2S/dU^2 \propto -1/U = -a/b1/U$$

A partir da expressão de Rayleigh-Jeans, deduz-se o valor: $d^2S/dU^2 \propto -1/U^2 = -k/U^2$. M. Planck propõe para substituir os dois resultados assintóticos anteriores:

$$d^2S/dU^2 = \frac{-A}{U(\beta+U)}$$

Embora, para baixas frequências, β torna-se mais pequeno do que U , tal como é dado pela equação que tende assintoticamente para:

$$dS/dU = 1/T = 1/\alpha \log \frac{\beta+U}{U}$$

Segundo a lei $U = \frac{\beta}{e^{(\alpha/T)} - 1}$, relacionamos com $\ell(\nu, T) \equiv \nu^3 f(\nu/T)$.

Daqui se segue:

$$\ell(\nu, T) = \frac{8\pi\nu^3}{c^3} \cdot \frac{c_1}{\exp(c_2\nu/T) - 1}; U = \frac{c_1\nu}{\exp(c_2\nu/T) - 1}$$

A discrepância, entre a teoria clássica da radiação electromagnética e a absorção experimental, está clara. Os resultados experimentais estão de acordo com a

equação de M. Planck. A teoria clássica conduz-nos à equação $\varepsilon(T) = 3KT$ que é diferente da expressão de Planck.

Mas Planck resolveu a discrepância adoptando a radiação e os osciladores harmónicos. Não existe transferência contínua de energia, como sucede na teoria clássica. Porém, a absorção e a emissão de radiação, por um oscilador, têm lugar por meio dos *quanta*. Esta asserção foi o primeiro passo na direcção da Mecânica Quântica. Planck estava em posição para demonstrar que esta asserção conduz à seguinte expressão para a densidade de radiação:

$$\ell(\nu, T) \equiv \left[\frac{8\pi h c^3}{c^3} \times \frac{1}{e^{h\nu / KT} - 1} \right]^{10}$$

Segundo a hipótese de M. Planck, consideramos somente, para um conjunto discreto de valores energéticos, a seguinte expressão:

$$\varepsilon(\varpi) \equiv \frac{nh\varpi}{2\pi}; \quad (n = 0, 1, 2, 3, 4, \dots)$$

Se usarmos a frequência ν , encontrada para frequência angular, surgirá $\varepsilon(\nu) = nh\nu$. Se substituirmos a equação anterior em:

$$E(X_n, p) = H(X, p) = p^2 / 2m + 1/2 KX^2$$

Então auferimos:

$$\varepsilon(T) = \sum n h \nu e^{-nh\nu/kT} / \sum e^{-nh\nu/kT}$$

O denominador S , da anterior equação, é uma série geométrica e a sua soma será:

$$S = \sum e^{-nh\nu/kT} = (1 - e^{-nh\nu/kT})^{-1}$$

¹⁰ Ziman, J. M. *Elements of Advanced Quantum Theory*, At the University Press, Cambridge, 1969, 26-29.

Finalmente:

$$S = -KT \cdot v \cdot \partial S / \partial v = \frac{h \cdot v \cdot e^{-hv/kT}}{(1 - e^{-h \cdot v/kT})^2}; \quad U = \mathcal{E}(T) = \frac{h \cdot v \cdot e^{-hv/kT}}{1 - e^{-hv/kT}} = \frac{hv}{e^{hv/kT} - 1}$$

E, então, surge a lei da radiação de Planck:

$$\ell(v, T) = \frac{8\pi hv^3}{c^3} \cdot \frac{1}{e^{hv/kT} - 1} \quad ^{11}$$

2. Quantum Actionis: da teoria à experiência

Para que a teoria quântica recebesse o seu fundamento experimental, necessitou-se do génio de A. Einstein, em virtude do «efeito fotoeléctrico», que associou a teoria da relatividade restrita à teoria quântica, tornando possível a Mecânica Quântica Relativista.

O efeito fotoeléctrico, fundamentado numa experiência, reside na luz monocromática que incide numa placa metálica, arrancando, a esse metal, electrões. Alguns dos electrões emitidos alcançam um colector e o amperímetro mede a corrente fotoeléctrica resultante. A intensidade e a frequência da luz incidente podem variar, bem como a diferença de potencial entre a placa metálica e o colector. A condução de electrões no metal move-se no campo eléctrico de iões estacionários. Dado que os electrões se movem de forma livre no átomo, requerem uma energia mínima para serem arrancados, de dentro para fora, do metal. Esta energia mínima depende das propriedades do metal e da superfície. Se a um electrão é dada uma energia maior do que W , o electrão poderá escapar do metal e terá a seguinte energia cinética:

$$1/2 mv_{\max}^2 \equiv E - W$$

Os resultados da experiência fotoeléctrica poderão resumir-se assim:

¹¹ Wheeler, J. A. *Quantum Theory and Measurement*, Princeton University Press, New Jersey, 1983, 46-74. Dalitz, R. H. *The Collected Works of P. A. M. Dirac, 1924-1948*, Cambridge University Press, Cambridge, 1998, 177.

2.1. Quando $V = 0$, os fotoelectrões são detectados, logo que o metal é iluminado pela luz com a frequência f , que será maior do que uma frequência denominada f_0 ;

2.2. Para cada frequência, o potencial V pode ser aumentado para o mesmo valor V_0 . A corrente recebe um valor zero. Se o emissor e o colector são feitos do mesmo material, então ocorre que a energia potencial é diferente (eV_0) de um electrão. Com carga será justamente igual à energia cinética máxima dos electrões emitidos:

$$eV_0 = \frac{1}{2}mv_{\max}^2 \quad ^{12}$$

2.3. A partir da frequência limiar, um acréscimo nos resultados da intensidade resulta num aumento do número de fotoelectrões. Mas, a energia cinética máxima dos electrões não muda.

Estas observações estão em conflito directo com as previsões definidas pelas ondas da luz. Se esta é uma onda, segundo a electrodinâmica de Maxwell, os electrões absorverão energia continuamente. Logo, não existe uma frequência limiar, haverá um retardamento na produção de fotoelectrões, com baixas intensidades, quando bastante luz terá sido absorvida sob a forma de energia.

Para altas intensidades, os electrões receberiam mais energia e, então, o potencial de paragem seria elevado.

Em 1905, Einstein descobriu que as experiências do efeito fotoeléctrico se desenvolveriam por meio de outro processo, se assumirmos que a energia da luz percorrida surgir em quantidades discretas e não de forma «contínua».

Einstein sugeriu que a quantidade de energia, para cada fotão, dependesse da frequência da luz e não da sua intensidade. A intensidade de uma banda de luz é determinada pela frequência e pelo número de fotões presentes, sendo a energia de cada fotão definida pela frequência¹³.

¹² Von Newman, J. *Mathematical Foundations of Quantum Mechanics*, Princeton University Press, New Jersey, 1955, 16-24.

¹³ Squires, E. *The Mystery of the Quantum World*, second edition, Institute of Physics Publishing, Bristol, 1994, 125-138.

Os *quanta* de luz comportam-se como partículas, quando viajam à velocidade da luz. Se esta apresenta uma frequência f , será um comprimento de onda: $\lambda = cf$. então, os fótons terão uma energia: $E = hf$. A intensidade da luz monocromática é proporcional ao número de fótons presentes. A quantidade h é uma «constante» de proporcionalidade, que foi introduzida, em 1900, por M. Planck (1858-1947), confirmando-se experimentalmente pela teoria da radiação «discreta». A constante de Planck apresentará o seguinte valor:

$$\begin{aligned} h &= 6,625 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} = \\ &= 4,135 \times 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s} = \\ &= 6,256 \times 10^{-27} \text{ erg} \cdot \text{s} \end{aligned}$$

Trata-se de uma constante fundamental da natureza, denominando-se —*quantum actionis*— (quantos de energia), tal como M. Planck proferiu no discurso da atribuição do Prémio Nobel da Física, em Estocolmo. A teoria dos fótons da luz oferece uma explicação completa do efeito fotoeléctrico: $f_0 = W/h$. Sendo W a energia mínima necessária para remover um electrão, a energia cinética máxima será:

$$1/2mv^2 = hf - hf_0 = hf - W; \quad e V_0 = hf - W; \quad V_0 = \frac{hf}{e} - \frac{W}{e}^{14}$$

3. Quantum Actionis: da experiência ao fundamento

M. Planck e A. Einstein, inicialmente, não aceitaram as consequências da teoria quântica, que tinham criado. Surgiu como se fosse, em termos comparativos, uma filha, que lhes fugiu dos braços, para ser eficaz no tempo.

Mas, a questão não se ficou pelo domínio científico. Não aceitaram, assim, as consequências filosóficas, no mundo microscópico, como os observadores que intervêm no que observaram.

3.1. De gnoseologia: Max Planck considerou este aspecto dizendo que uma nova teoria não triunfa por conseguir convencer os seus adversários mas antes, porque estes acabam por morrer e as novas gerações são educadas nas novas teorias.

¹⁴ Salam, A. *Aspects of Quantum Theory*, At the University Press, Cambridge, 1972, 118-202.

Não se pense, como afirma T. Kuhn e alguns pós-modernos, que a ciência se faz essencialmente de rupturas e, por isso, é débil ou precária.

Epistemologicamente referindo, a força e o sentido da ciência residem no carácter «cumulativo». Tal asserção prova-se, porque M. Planck, para elaborar a teoria quântica, necessitou da Termodinâmica. A ciência física, de hoje, é probabilística e holística.

A ciência, ao ser mais «cumulativa» do que fracturante, progride por acumulação de factos, leis, teorias, métodos e instrumentos, seguindo um desenvolvimento linear e harmónico. Foi o que se passou com a teoria quântica, que está para durar. A física moderna goza da «adicionalidade» no sentido e na experiência¹⁵.

Em sentido epistemológico, a ciência física possui o carácter da «adicionalidade» dos fenómenos da natureza. Mas, é através destes que se sente o confronto das teorias com a realidade. Não é um confronto directo, mas antes confirmativo e no discurso indirecto. Logo, é possível verificar tal asserção epistemológica com o contributo dado para a «verificabilidade» da teoria quântica, podendo dizer-se que vivemos e convivemos com esta teoria sem o sabermos, sempre que falamos em televisão, computadores, telemóveis ou «laser».

Nada fazia prever que um físico desconhecido iria criar condições para que o século XX fosse tão diferente do anterior. Esta teoria originou uma verdadeira revolução. As consequências tecnológicas desta teoria foram espectaculares. A teoria quântica, definida por M. Planck, é a «pedra angular» da física moderna, juntamente com a teoria da relatividade de Einstein e, em larga medida, de toda a ciência de hoje até à Cosmologia Quântica, passando pela Medicina Nuclear, especialidade clínica que, por meio do diagnóstico, usa radiofármacos e a cintigrafia, partindo da energia fotónica: $\varepsilon = h\nu$ ¹⁶.

As implicações epistemológicas foram profundas. Toda a ciência, desde as estrelas até à célula, passou a dispor de uma base conceptual unificada. Se a bio-

¹⁵ Roderick, K. C. *Light and Living Matter*, volume I, McGraw-Hill Book Co, New York, 1971, 105-116.

¹⁶ Pérez Piqueras J. L. *Medicina Nuclear Clínica*, Editorial Marban, Madrid, 1993, 5-20.

logia e a medicina necessitam da teoria dos *quanta*, não a exige menos a Astrofísica Quântica, porque aplica a física das partículas ao mundo das galáxias. E aqui está «omnipresente» a teoria dos *quanta* de M. Planck.

Relativamente a uma teoria científica, poderemos dizer que será «true to the facts» e não tanto será universal e verdadeira para todos os casos. Isto parece indicar, epistemologicamente pensando, que se uma teoria está desprovida de objectos, então, também, está desprovida de fenómenos. Mas, a teoria quântica resistiu a esta máxima. A sustentá-la, na ordem experimental, surgem o efeito fotoeléctrico e o efeito de Compton.

Dada a relevância nas relações entre os fenómenos, como se assume na ciência física, esta contempla, igualmente, a existência das representações abstractas, que não se arrogam por qualquer carácter de verdade em relação ao mundo e aos seus fenómenos, expressas em modelos fenomenológicos, como se definem pela teoria.

3.2. De ontologia: A essência da ciência, segundo W. Bragg, físico inglês, reside não em descobrir novos factos, mas antes em descobrir novos caminhos para pensar sobre aqueles. A teoria quântica definiu ontologicamente um novo comportamento para a energia, a qual se apresentava, segundo a física clássica, em «quantidades contínuas», passando a surgir em «unidades discretas». Foi um novo caminho para repensar a energia. Daqui se poderá dizer que o grande axioma desta teoria refere a luz, existindo aos «soluços». Ontologicamente, importa saber o «existir» (*esse*) dos fenómenos. Este manifesta-se aos «soluços». Toda a energia, sob qualquer espécie, segundo a centenária teoria quântica, se projecta aos «soluços».

A física e a química apresentam-se em sistemas lógicos, tal como se observa pela teoria quântica nas suas consequências teóricas: Mecânica Quântica Ondulatória, Mecânica Quântica das Matrizes, Física das Partículas e Atómica. Estas definem-se pelo método, que usam para explicar a realidade circundante, na convicção de que a mesma é compreensível¹⁷.

¹⁷ Andrade e Silva, J.; Lochak, G. *Quanta*, translated from the french, World University Library, London, 1969, 54-66.

Tendo como pano de fundo a teoria dos *quanta*, o método científico refere relações epistemológicas entre as asserções deduzidas da observação e as afirmações associadas a fenómenos observáveis. As leis e as teorias, gnoseologicamente salientadas, segundo o processo indutivo, somente poderão ligar as mesmas, tratando-se de uma «probabilidade», que exprime o grau de certeza pela veracidade da teoria, face à evidência experimental¹⁸.

4. Quantum Actionis: do fundamento à fenomenologia

O físico belga, D. Ruelle, um dos criadores da teoria do caos, adverte para a dificuldade em transpor as conclusões da teoria para as ciências humanas.

Na falta de equações, que se apliquem a sistemas humanos pela imprecisão da sua descrição ao longo do tempo e pelo carácter mutável dos sistemas, as variáveis humanas são outras. Mesmo assim, o progresso, nestas áreas das ciências humanas, é possível porque aqui surge, também, o campo da «previsibilidade».

Segundo a filósofa da física, D. Zohar, todo o conjunto de ciências, do século XX, traz novos paradigmas e muda os conceitos fundamentais a partir dos quais compreendemos o mundo. Mas, poderemos perguntar: para quê mudar paradigmas? Isto quer dizer que ao surgir o aumento da capacidade de raciocínio, significa adaptar-se a novas realidades.

A física clássica, segundo D. Zohar, deu-nos uma série de «paradigmas» para compreender a realidade. Daqui se auffle que vivemos num mundo de organizações newtonianas, que raciocinam com a certeza e a previsibilidade. Estas organizações são hierárquicas. O poder da massa-energia dimana do topo e o controlo é vital a todos os níveis. Elas são organizadas e geridas como se a soma das suas partes explicasse o todo.

D. Zohar coloca um modelo baseado em novas ideias, na linguagem e nas imagens dos esquemas quânticos. Mas, seguindo a teoria quântica, surgem as diferenças de paradigma trazidas pelas novas ciências:

¹⁸ Hattrup, D. *Einstein und der wuerfelnde Gott*, Herde-Verlag, Freiburg, 2001, 162-176, 184-243; Kemble, F. C. *The Fundamental Principles of Quantum Mechanics*, MacGraw-Hill Book Company Inc., New York, 1937, 1-33.

4.1. Holismo versus Atomismo: Quer a física aristotélica, quer a física newtoniana representam-se em modelos atomísticos, onde o todo é formado pelas suas partes. A interacção delas explica o conjunto. O modelo atómico tornou-se a base e o fundamento do paradigma ocidental.

A física quântica, iniciada pela teoria de Max Planck, ensina-nos outra forma de ver as coisas. Ao nível mais fundamental da realidade, os sistemas físicos consistem em padrões de energia dinâmica ($\mathcal{E} = h\nu$). Nenhum pedaço pode ser visto separadamente do todo, sem que haja uma distorção ou perda¹⁹.

A organização quântica é «holística», segundo Danah, desde a física teórica até à gestão.

O paradigma quântico preocupa-se menos com o controlo dos processos e determina, com frequência, o relacionamento entre os «colegas» e/ou entre os «departamentos». A organização quântica deverá ser consciente do contexto (humano, empresarial, social e ecológico) e aumentar as suas relações com ele²⁰.

4.2. Indeterminismo: Segundo a física clássica, cada efeito tem uma causa. Dadas as leis correctas, tudo pode ser previsto, sendo as expressões físico-matemáticas determinísticas. Para as teorias quânticas, não há «previsibilidade» e não há controlo possível.

Com efeito, uma empresa deve mover-se entre o conceito mecanicista —cada parte tem a sua função—; e o orgânico —todos funcionam em ordem ao todo—. Todavia é a «indeterminação» que a torna capaz de evoluir em qualquer direcção, conforme exigências da situação. Com efeito, dir-se-á que está *in fieri*.

Segundo o axioma fundamental da Mecânica Quântica, será impossível determinar, ao mesmo tempo, a posição e a velocidade de uma partícula. Se o princípio se aplica à quantidade de movimento, também se aufere quanto à energia: $\Delta E \cdot \Delta t \sim h^{21}$. A primeira grande conclusão a tirar do princípio da incerteza é

¹⁹ Borges de Meneses, R. D. «Princípio de Incerteza de Heisenberg: física e filosofia» in *Humanística e Teologia*, 22, Porto, 2001, 399-412.

²⁰ Zohar, D. *Rewiring the Corporate Brain*, Oxford University Press, Oxford, 1985, 20-25.

²¹ Oldenberg, O. *Introducción a la física atómica y nuclear*, traducción, Ed. Del Castillo, Madrid, 1970, 250-260; Buchwald, E. *Das Korrespondenz Prinzip*, Braunschweig, 1923, 1-17; Garden, R. W. *Modern Logic and Quantum Mechanics*, A. Hilger Ltd., Bristol, 1984, 104-132.

que as perguntas, que fazemos, determinam as respostas que vamos obter. *E*, também, as respostas que, provavelmente, não vamos obter, tal como afirma Danah.

Uma organização quântica seria menos parecida com uma orquestra e mais semelhante a um «jam session». Na orquestra, há vários instrumentos, mas o tema é o mesmo, sendo o resultado a soma das partes. Entretanto, na «jam session», os músicos interagem livremente e não há maestro. O tema vai-se desenvolvendo e há um todo que organiza as partes. Mas, o resultado final é sempre uma surpresa. Não se trata, com efeito, de uma anarquia na natureza física, nem na natureza social.

Administradores, que distribuem tarefas (Aufgaben), podem obter resultados que esperam. Mas, nunca irão saber o que mais poderiam ter conseguido;

4.3. Potencial e não Real: Resultados trimestrais e avaliações de desempenho fazem parte do mundo mensurável, aquele que cabe nos gráficos cartesianos e que pode ser analisado, controlado ou verificado.

A mecânica quântica trabalha com metodologias estatísticas, segundo a causalidade potencial por leis aleatórias. Logo, uma organização quântica seria «brincalhona». Ela teria, necessariamente, estruturas que encorajariam a aceitação de riscos²². A organização newtoniana está *in actu*, enquanto que a organização planckiana refere-se *in potentia*. Apresenta-se com um outro *agere*, porque tem outro *esse*.

O novo estilo de gestão poderá ser sintetizado nos seguintes predicados: incerteza; mudança rápida; redes não hierárquicas e esforço integrado (holístico). O poder surge de vários centros; empregados activos e sócios; cooperação; estruturas flexíveis; relacionamento e operação de baixo para cima (experimental). Danah Zohar propõe às empresas um modelo inovador, baseado nas ideias e linguagem das novas ciências.

Logo, o estilo de gestão newtoniana é marcado pelos seguintes elementos: certeza; previsibilidade; hierarquia; fragmentação de funções; O poder surge do

²² Zohar, D. Ibidem, 160-170.

centro; empregados passivos; competição; controlo burocrático; eficiência e operação de cima para baixo (reactiva).

O líder ideal deve saber quando usar a teoria clássica e quando servir os novos paradigmas. Mas, nos dias de hoje, o paradigma quântico é prevalente e tem tendência a uma maior aplicabilidade, ora no domínio da gestão, ora no domínio da sociologia.

Conclusivamente, numa gestão quântica, a única maneira de prever um resultado é vê-lo acontecer —*adventum*—, no qual a aplicabilidade dos referidos paradigmas se revela no «diálogo» onde as equipas são livres. Assim, parece que as novas ciências físicas, do século XX, começaram com a teoria dos —*quanta*— de Max Planck, ajudando-nos a entender melhor a «empresa», para já não falar dos resultados práticos da bomba atómica à cirurgia por «laser». Todos os sectores da «vida», desde a fisiologia à técnica e às ciências humanas, estão marcados pela teoria dos *quanta* de Max Planck.

Conclusão

As leis e as teorias, nomeadamente a dos *quanta* de M. Planck, representam o mundo, não como relação de verdade, mas como relação de semelhança. Tal relação resulta de um ajuste do modelo teórico ao mundo, não sendo a semelhança total, porque, mesmo quando rigorosa, ocorre sob alguns aspectos. A ciência não possui condições para um juízo global da realidade. Esta carência epistemológica faz-se sentir, precisamente, pelos *quanta* de M. Planck, ao determinar uma unificação dos saberes numa simples equação $E = hv$.

Se N. Bohr e A. Einstein tiveram muita dificuldade em aceitar esta teoria, desde a confirmação experimental até às aplicações, não significa que ela deixe de estar presente em todos os domínios da vida.

Hoje, o modelo quântico permitiu ligar o microcosmos ao macrocosmos da física, vislumbrado pela Cosmologia Quântica, dando novo rosto à Astrofísica, desde o método à sistemática com o auxílio da física das partículas.

Quer na ordem ontológica, quer na gnoseológica está presente o sentido quântico da natureza, chegando-se a alterar o axioma *natura non facit saltus*. Ele-

vado é o peso ontológico do *quantum actionis* para caracterizar uma essência determinística, no meio do indeterminismo da energia descontínua definida pelo princípio da incerteza de Heisenberg. Este princípio marca um novo existir quântico no mundo da nova Mecânica. Será, para a Ontologia regional, um existir probabilístico, definidor de novo grau de perfeição probabilístico das partículas-ondas.

Bibliografia

- ANDRADE, J. et alii (1969). *Quanta*, New York: McGraw-Hill Book.
- BIALYNICKI, B. et alii (1992). *Theory of Quanta*, New York: Oxford University Press.
- BORGES DE MENESES, R. D. (2001). «Princípio da Incerteza de Heisenberg: física e filosofia», *Humanística e Teologia*, Porton. 2.
- BUCHWALD, E. (1923). *Das Korespondenz Prinzip*, Berlin: Springer-Verlag.
- COMPTON, A. (1961). «The Scattering X-rays as particles». *American Journal of Physics*, New York, n. 12.
- DALITZ, R. H., ed. (1998). *The Collected Works of P.A.M. Dirac, 1924-1948*, Cambridge: At the University Press.
- DARROW, K. K. (1952). «The quantum Theory». *Scientific American*, New York, n. 3.
- DOERING, W. (1955). *Einfuehrung in die Quantum Mechanik*, Goettingen: Vandenhoeck und Ruprecht.
- GARDEN, R. W. (1984). *Modern Logic and Quantum Mechanics*, Bristol: Hilger.
- GASIOROWICZ, S. (1974). *Quantum Physics*, New York: Wiley and Sons.
- GREINER, W. (1989). *Quantum Mechanics*, Berlin: Springer-Verlag.
- HATTRUP, D. (2001). *Einstein und der wuerfelnde Gott*, Freiburg: Herder-Verlag.
- HAMEKA, H. F. (1981). *Quantum Mechanics*, New York: Wiley and Sons.
- KANE et alii (1987). *Physics*, New York: Wiley and Sons.
- KAWINSKI, J. (1992). *Theory of Quanta*, New York : Oxford University Press.
- OLDENBERG, O. (1970). *Introducción a la física atómica y nuclear*, Madrid: Del Castillo.
- PÉREZ PIQUERAS, J. L. (1993). *Medicina Nuclear Clinica*, Madrid:Marban.

- PLANCK, M. (1879). *Vorlesungen ueber Thermodynamik*, Goettingen: Walter de Gruyter.
- RODERICK, K. C. (1971). *Light and Living Matter*, Volume I, New York: McGraw-Hill.
- SALAM, A. (1972). *Aspects of Quantum Theory*, Cambridge: At the University Press.
- SQUIRES, E. (1994). *The Mystery of the Quantum*, World, Bristol: Institute of Pysics Publishing.
- TELLIZ-ARENAS, A. (1976). *Mécanique Quantique*, Paris: Masson et Cie.
- THIRRING, W. (1955). *Einfuehrung in die Quantenelektrodynamik*, Wien: Franz Deutliche.
- VON NEWMAN, J. (1955). *Mathematical Foundations of Quantum Mechanics*, New Jersey: Princeton University Press.
- WHEELER, J. A. (1983). *Quantum Theory and Measurement*, New Jersey: Princeton Univ. Press.
- ZIMAN, J. M. (1969). *Elements of Advanced Quantum Theory*, Cambridge: At the Univ. Press.
- ZOHAR, D. (1985). *Rewiring the Corporate Brain*, Oxford: At the University Press.

Recibido: 10/04/2010

Aceptado: 3/05/2010