

# Teorias construtivas e teorias fenomenológicas

Silvio Seno Chibeni

Uma distinção importante no estudo epistemológico das teorias científicas é aquela entre teorias *construtivas* e teorias *fenomenológicas*. Essa distinção diz respeito à natureza das proposições da teoria, e conseqüentemente ao tipo de explicação que fornecem para os fenômenos.

**Teorias fenomenológicas.** Classificam-se como tais as teorias cujas proposições se refiram *exclusivamente* a propriedades e relações empiricamente acessíveis entre os fenômenos (*fenômeno*: aquilo que aparece aos sentidos). Essas proposições descrevem, conectam e integram os fenômenos, permitindo a dedução de conseqüências empiricamente observáveis. Exemplos importantes de teorias fenomenológicas são a termodinâmica, a teoria da relatividade especial e a teoria da seleção natural de Darwin.

**Teorias construtivas.** Em contraste com as teorias fenomenológicas, as teorias construtivas envolvem proposições referentes a entidades e processos inacessíveis à observação direta, que são postulados com o objetivo de explicar os fenômenos por sua “construção” a partir dessa suposta estrutura fundamental subjacente. Exemplos característicos desse tipo de teoria são a mecânica quântica, a mecânica estatística, o eletromagnetismo, a genética molecular e grande parte das teorias químicas.<sup>1</sup>

É importante observar que essas duas categorias de teoria *não* são conflitantes, no sentido de que é possível que um mesmo conjunto de fenômenos seja tratado por duas teorias, uma fenomenológica e outra construtiva; nesse caso, a última vai além da primeira no nível explicativo, desse modo complementando-a. Há de tal situação um exemplo notável na física, que é a coexistência da termodinâmica com a mecânica estatística.

A termodinâmica, que se desenvolveu mais completamente durante a primeira metade do século XIX (principalmente pelos esforços de R. J. Mayer, J. P. Joule, S. Carnot, R. Clausius e o Lorde Kelvin), constitui desde então a teoria fenomenológica básica de todos os fenômenos térmicos, tendo atravessado incólume as revoluções sofridas pela física no início de nosso século, que alteraram de modo radical os teorias acerca da estrutura da matéria. Foi exatamente por ser do tipo fenomenológico que a termodinâmica não teve que ser reformulada quando essas teorias mudaram. Desde a sua criação (e, em um certo sentido, mesmo antes), porém, muitos cientistas sentiram a necessidade de buscar uma teoria construtiva para os fenômenos por ela tratados. Os primeiros passos nessa direção foram dados com o desenvolvimento da teoria cinética dos gases (cujos primórdios remontam ao século XVII, com R. Boyle). A teoria final — a mecânica estatística — foi formulada por J. W. Gibbs, em 1902, após o fundamental trabalho precursor de J. C. Maxwell e L. Boltzmann, na segunda metade do século XIX. Essa teoria assume uma realidade microscópica subjacente, constituída de átomos e moléculas, regidos por certas leis mecânicas,

---

<sup>1</sup> A expressão ‘teorias construtivas’ foi introduzida por Einstein, num artigo de 1919 (1954, p. 228). Não há uma denominação amplamente aceita pelos filósofos para esse tipo de teoria. Uma alternativa talvez fosse ‘teorias explicativas’, dada a ênfase que tais teorias põem na questão da explicação dos fenômenos. Já a denominação da outra classe de teorias é mais natural, pela própria significação original da palavra ‘fenômeno’. No referido artigo Einstein prefere chamá-la de ‘teorias de princípios’, expressão que não está livre de problemas, pois que, num sentido usual do termo, as teorias construtivas também obviamente envolvem princípios. Nos casos reais da ciência, a distinção pode não ser simples de estabelecer-se, já que depende de um fator – a observabilidade – que tem sido objeto de interpretações filosóficas discordantes. Além disso, talvez seja justo considerar que a distinção é de *grau*, não havendo uma fronteira nítida entre os casos.

realidade essa que seria responsável pelos fenômenos termodinâmicos, no nível observacional. Assim, por exemplo, o calor é interpretado como o efeito do movimento rápido das moléculas, a pressão de um gás como o resultado dos impactos de tais moléculas sobre as paredes do recipiente que o contém, a produção de calor por atrito é explicada pela transformação de movimento macroscópico em movimento microscópico das moléculas, etc.

Por meio de complexos procedimentos físicos e matemáticos pode-se, até certo ponto, “reduzir” a termodinâmica à mecânica estatística, ou seja, deduzir as leis da primeira a partir da ontologia e leis da segunda. Ressalvamos apenas que tal “redução” encontra limitações sérias e ainda não resolvidas satisfatoriamente, no caso da segunda lei da termodinâmica.

Apenas para fixar idéias, consideremos um exemplo simples. Verifica-se empiricamente que para uma determinada massa de um gás razoavelmente rarefeito vale a seguinte relação entre o seu volume,  $V$ , sua pressão,  $p$  e sua temperatura,  $T$ :

$$(p V) / T = \text{constante.}$$

Essa relação, puramente fenomenológica (conhecida como Lei de Boyle, Charles e Gay-Lussac), pode também ser deduzida pela mecânica estatística através das interpretações acima aludidas da temperatura e pressão em termos de movimentos moleculares, que quantitativamente se expressam como:

$$p = 1/3 d \langle v^2 \rangle, \quad T = 2/3 (1/nR) \sum_i E_c^i$$

onde  $d$  é a densidade do gás,  $\langle v^2 \rangle$  é a velocidade quadrática média de suas moléculas,  $n$  é o número de moles do gás (número de moléculas dividido por  $6 \times 10^{23}$ ),  $R$  é uma constante, e  $E_c^i$  a energia cinética da  $i$ -ésima molécula do gás ( $\sum_i$  indica a soma sobre todas as moléculas). Essas equações ilustram a relação entre grandezas macroscópicas, acessíveis empiricamente ( $p$  e  $T$ ), e microscópicas, inacessíveis à observação ( $\langle v^2 \rangle$  e  $E_c^i$ ).

Outro exemplo importante de teoria fenomenológica é, como dissemos, a teoria da relatividade especial. Os princípios básicos dessa teoria são o *princípio da relatividade* e o *princípio da constância da velocidade da luz*. O primeiro diz que as leis físicas verdadeiras assumem a mesma forma em todos os referenciais inerciais; o segundo diz que no espaço vazio a velocidade da luz é a mesma em qualquer referencial inercial, independentemente do movimento de sua fonte. Como se nota, não há aqui nenhuma assunção acerca de entidades e mecanismos não-observáveis. Dessas leis básicas decorrem as demais leis da teoria, como por exemplo a que descreve a chamada “contração do espaço”: um corpo de comprimento  $L_0$  em repouso em relação a um dado observador tem seu comprimento reduzido para  $L$  quando se move ao longo de seu comprimento com uma velocidade  $v$  relativamente àquele observador, a relação entre  $L_0$  e  $L$  sendo dada por:

$$L = L_0 [1 - (v^2/c^2)]^{1/2},$$

onde  $c$  é a velocidade da luz. Vemos aqui também que tal relação é puramente fenomenológica.

Outros exemplos bem conhecidos de leis físicas de tipo fenomenológico:

- Lei de Ohm:  $U = RI$
- Lei da reflexão:  $\Theta_i = \Theta_r$

- Lei da refração:  $(\sin \Theta_1 / \sin \Theta_2) = (n_2 / n_1)$
- Lei das proporções definidas: as substâncias combinam-se quimicamente em proporções fixas
- Lei do período do pêndulo:  $T = 2\pi\sqrt{L/g}$

Considerada do ponto de vista *filosófico* a distinção entre teorias fenomenológicas e construtivas sugere a seguinte análise. Com referência às duas principais posições epistemológicas acerca dos limites do conhecimento – realismo e anti-realismo –, notamos que as teorias fenomenológicas, ao não irem além do nível empírico, adaptam-se sem qualquer ressalva aos critérios epistemológicos estritos do anti-realismo científico. As teorias construtivas, por outro lado, ao proporem entidades e processos não-observáveis, só são admitidas pelos anti-realistas se tais entidades e processos forem interpretados de modo não-realista, e não como contrapartes teóricas de uma realidade objetiva independente.

Do ponto de vista *científico* tanto as teorias fenomenológicas como as construtivas têm desempenhado papéis importantes no desenvolvimento da ciência. Se, por um lado, as teorias construtivas são aparentemente mais satisfatórias quanto ao poder explicativo, as teorias fenomenológicas possuem a virtude de uma maior estabilidade ao longo da evolução da ciência. Reside nesse fato, aliás, a razão da forte impressão exercida pela termodinâmica sobre Einstein, que certamente influenciou-o na criação da teoria da relatividade especial em moldes fenomenológicos. Em suas “Autobiographical notes” ele escreveu:

Uma teoria é tanto mais admirável quanto maior for a simplicidade de suas premissas, maior o número de coisas que relaciona, e mais extensa a sua área de aplicação. Eis o porquê de minha profunda admiração pela termodinâmica clássica. É a única teoria física de conteúdo universal sobre a qual estou convencido de que, dentro do âmbito de aplicação de seus conceitos básicos, nunca será descartada. (p. 33)

\* \* \*

## EINSTEIN ON THE TWO KINDS OF THEORIES

We can distinguish various kinds of theories in physics. Most of them are *constructive*. They attempt to build up a picture of the more complex phenomena out of the materials of a relatively simple formal scheme from which they start out. Thus the kinetic theory of gases seeks to reduce mechanical, thermal, and diffusional processes to movements of molecules—i.e., to build them up out of the hypothesis of molecular motion. When we say that we have succeeded in understanding a group of natural processes, we invariably mean that a constructive theory has been found which covers the processes in question.

Along with this most important class of theories there exists a second, which I will call “*principle-theories*.” These employ the analytic, not the synthetic, method. The elements which form their basis and starting-point are not hypothetically constructed but empirically discovered ones, general characteristics of natural processes, principles that give rise to mathematically formulated criteria which the separate processes or the theoretical representations of them have to satisfy. Thus the science of thermodynamics seeks by analytical means to deduce necessary conditions, which separate events have to satisfy, from the universally experienced fact that perpetual motion is impossible.

The advantages of the constructive theory are completeness, adaptability, and clearness, those of the principle theory are logical perfection and security of the foundations.

The theory of relativity belongs to the latter class. In order to grasp its nature, one needs first of all to become acquainted with the principles on which it is based. Before I go into these, however, I must observe that the theory of relativity resembles a building consisting of two separate stories, the

special theory and the general theory. The special theory, on which the general theory rests, applies to all physical phenomena with the exception of gravitation; the general theory provides the law of gravitation and its relations to the other forces of nature.

It has, of course, been known since the days of the ancient Greeks that in order to describe the movement of a body, a second body is needed to which the movement of the first is referred. The movement of a vehicle is considered in reference to the earth's surface, that of a planet to the totality of the visible fixed stars. In physics the body to which events are spatially referred is called the coordinate system. The laws of the mechanics of Galileo and Newton, for instance, can only be formulated with the aid of a coordinate system.

The state of motion of the coordinate system may not, however, be arbitrarily chosen, if the laws of mechanics are to be valid (it must be free from rotation and acceleration). A coordinate system which is admitted in mechanics is called an "inertial system." The state of motion of an inertial system is according to mechanics not one that is determined uniquely by nature. On the contrary, the following definition holds good: a coordinate system that is moved uniformly and in a straight line relative to an inertial system is likewise an inertial system. By the "special principle of relativity" is meant the generalization of this definition to include any natural event whatever: thus, every universal law of nature which is valid in relation to a coordinate system  $C$ , must also be valid, as it stands, in relation to a coordinate system  $C'$ , which is in uniform translatory motion relatively to  $C$ .

The second principle, on which the special theory of relativity rests, is the "principle of the constant velocity of light in vacuo." This principle asserts that light in vacuo always has a definite velocity of propagation (independent of the state of motion of the observer or of the source of the light). The confidence which physicists place in this principle springs from the successes achieved by the electrodynamics of Maxwell and Lorentz.

Both the above-mentioned principles are powerfully supported by experience, but appear not to be logically reconcilable. The special theory of relativity finally succeeded in reconciling them logically by a modification of kinematics – i.e., of the doctrine of the laws relating to space and time (from the point of view of physics). ...

(In: "What is the theory of relativity", pp. 228-30; *itálicos acrescentados.*)

\* \* \*

EINSTEIN, A. "Autobiographical notes". In: Schilpp, P. A. (ed.) *Albert Einstein: Philosopher-Scientist*. 3. ed. La Salle, Illinois, Open Court, 1949, pp. 3-95.

—. "What is the theory of relativity". In: *Ideas and Opinions*, Crown, 1954 (Wing Books reprint), pp. 228-30.