

○ papel da intuição nas descobertas e invenções em Física (*)

JOSÉ MARIA FILARDO BASSALO

Departamento de Física da Universidade Federal do Pará
66 000 — Campus Guamá, Belém, Brasil

Neste trabalho procuramos estudar o papel da intuição nas descobertas e invenções em Física. Inicialmente, analisamos o processo criativo geral revelado na Arte, na Ciência e no Humor (Kneller, Koestler), processo esse constituído de quatro etapas básicas (Poincaré): preparação, incubação, iluminação (intuição) e verificação, das quais a intuição é um factor preponderante. Em seguida, ao fazermos um estudo histórico da intuição, verificamos que ela nos proporciona conhecimento através da razão (Platão), da emoção (Plotino, Santo Agostinho) e da volição (Fichte, Dilthey). Por fim, usando uma série de exemplos, tentamos mostrar que as descobertas e invenções físicas, decorrem basicamente, de três tipos de intuição: racional, decorrente de trabalhos conscientes de seus autores e ocorrida, no entanto, fora das «torres de marfim» (Arquimedes, Newton, etc.); emotiva, proveniente de idéias isoladas e que, contudo, estão fora do paradigma científico vigente (Newton, Langevin); e volitiva, resultante de acidentes ou serendipitidades (Fermi, Roentgen, Becquerel, etc.).

Quando adolescente, quer por ouvir contarem, quer por ler em livros didáticos que se preocupam com o aspecto histórico da Ciência, ou em livros de divulgação científica, tomamos conhecimento de histórias bizarras relacionadas com algumas descobertas e invenções científicas. Por exemplo, são por demais conhecidas as histórias de Arquimedes que saiu despido pelas ruas de Siracusa gritando *Eureka! Eureka! (Achei! Achei!)*, ao descobrir que seu corpo se tornava mais leve ao penetrar em uma banheira com água, fato esse que o levou a formular o «Princípio da Flutuabilidade»; de Newton, que ao ver cair uma maçã no quintal da fazenda de sua mãe, em Woolsthorpe, na Inglaterra, o levou a formular a Teoria da Gravitação; de Kelulé, que ao sonhar com uma

ouroboros (cobra que morde sua própria cauda), foi levado à sua famosa estrutura hexagonal do benzeno; ou as descobertas acidentais de Roentgen e de Becquerel, dos raios-X e da radioatividade, respectivamente. Todas essas histórias (e mais algumas que contaremos no decorrer deste trabalho), apesar de extravagantes, estão ligadas a alguma coisa mais profunda do que apenas a uma esquisitice do cientista-criador, isto é, estão ligadas àquilo que filósofos e psicólogos chamam de

(*) A Comissão Redactorial respeitou integralmente a grafia do autor, mesmo quando ela se afastava da que é corrente em Portugal. Algumas «notas» foram separadas das «referências» e inseridas nas páginas apropriadas.

MATERIAIS 87 • Universidade do Minho, Braga, 21-23 Abril 1987

Temas: Processos de Fabrico de Materiais • Comportamento dos Materiais • Física dos Materiais • Conservação dos Materiais

Datas: Resumos (1 folha A4) até 31-12-86; textos e inscrições até 15-3-87

Endereço: Materiais 87 • Univ. Minho • Largo do Paço • 4719 Braga Codex

intuição. Neste trabalho mostraremos, através de uma série de exemplos, o papel criador desempenhado pela intuição nas descobertas e invenções em Física.

O filósofo e cientista polonês Jacob Bronowski (1908-1974), em seu livro *Um Sentido do Futuro* [1], afirma que um *fato é descoberto* e que uma *teoria* ou *instrumento* são *inventados*. Porém, prossegue Bronowski, para que haja *criação* em uma descoberta ou em uma invenção, é necessário que haja uma profunda ou suficiente participação pessoal do descobridor/inventor. Para ilustrar essa opinião, Bronowski apresenta alguns exemplos. Assim, para ele, a descoberta das Índias Ocidentais (1492) pelo explorador italiano Cristóvão Colombo (1451-1506) e a invenção do telefone (1876) pelo escocês, naturalizado norte-americano, Alexander Graham Bell (1847-1922), são destituídos de criação, pois as Índias Ocidentais já existiam antes de Colombo e os fatos básicos para a invenção do telefone já existiam, também, antes de Bell. No caso do telefone, Bronowski acha que a engenhosidade da concepção de Bell, como se pode ver nas descrições que Isaac Asimov [2] e Peter Wymer [3] fazem sobre a mesma, não foi suficiente para considerá-la criativa, pois se não fosse Bell, adita Bronowski, seria um outro o inventor desse aparelho. Por outro lado, para o autor do notável *A Escalada do Homem*, a tragédia *Otelo* (1604) do poeta e dramaturgo inglês William Shakespeare (1564-1616) e o *quantum de energia* (1900) do físico alemão Max Karl Ernst Ludwig Planck (1859-1974; Prêmio Nobel de Física (PNF), 1918), são criações genuínas por serem profundamente pessoais. Por exemplo, para Bronowski, o teatro elisabetano teria continuado sem Shakespeare, mas nenhum outro dramaturgo teria criado *Otelo* tal como o conhecemos.

Sendo a intuição uma das etapas constituintes do processo criativo, cremos ser oportuno deter-nos um pouco sobre esse processo. Quando um homem é criativo? Vários cientistas, filósofos e psicólogos têm tentado responder a essa questão, já que a *criatividade* se constitui num ponto comum entre a Ciência

e a Arte (incluindo nesta o Humor). Bronowski [4], por exemplo, observando ser a Natureza caótica e, como tal, plena de uma variedade infinita, acredita que o homem em seu processo criativo, deverá procurar semelhanças, buscar estruturas comuns nessa variedade, até encontrar uma «unidade na variedade da Natureza». (Nessa definição de criação, Bronowski usou o conceito de *beleza* — «unidade expressa na variedade» — formulado pelo poeta e crítico literário inglês Samuel Taylor Coleridge (1772-1834)). Por outro lado, o filósofo norte-americano George Frederick Kneller (1908-), em seu livro *Arte e Ciência da Criatividade* [5], após estudar um grande número de textos sobre a criação, observou que cada pessoa «constitui um padrão singular de potencialidades» e que, no entanto, para desenvolver tais potencialidades, essa pessoa deve ser educada no sentido de estimular sua criatividade. (Daí porque Kneller preconiza uma profunda reformulação na educação mundial que deverá ter como uma de suas principais virtudes «a busca de um conhecimento criativo» ⁽¹⁾). Para se aprender de maneira criativa, prossegue Kneller, «o aluno há de combinar o conhecimento que adquire numa determinada lição com o retirado de outras áreas de experiência». Assim, uma pessoa ao estudar determinado assunto, ao invés de apenas juntar alguma idéia oriunda desse seu estudo às outras que já estudara, deve inventar novos padrões de idéias ou «ativar idéias inertes», como preconiza o grande matemático e filósofo inglês Alfred North Whitehead (1861-1947). Para ser criativa, diz Kneller, uma pessoa deve procurar uma ligação entre idéias não previamente ligadas. E essa ligação, adverte, é produto da intuição.

A criação foi também extensivamente estudada pelo filósofo e novelista húngaro, naturalizado inglês, Alfred Koestler (1905-1983) em *The Act of Creation* [6]. Assim, para Koestler, os processos criadores revelados no

(1) Essa também é a opinião do educador brasileiro Lauro de Oliveira Lima, defendida em vários de seus livros, entre os quais, por exemplo, o recente *Introdução à Pedagogia* (Editora Brasiliense, 1983).

Humor, na Arte e na Ciência, participam de um padrão comum a *bissociação* — que consiste na conexão simultânea de níveis de experiência, oriundos de padrões de pensamento ou de comportamento: as *matrizes*. Então, afirma ainda Koestler, o ato de criação na Ciência decorre da *fusão* de duas matrizes de pensamento até então não relacionadas, resultando em uma nova síntese que, por sua vez, leva a novas sínteses. Para demonstrar sua tese, Koestler descreve vários casos de bissociação científica. Por ser extremamente didática, vamos descrever a idéia da invenção do tipo móvel (~1438) pelo inventor alemão Johannes Gensfleisch Zur Laden, apelidado Gutenberg (1397-1468). «Este (Gutenberg), como sabemos por suas cartas, estava procurando um meio de produção livreira mais rápido que o permitido pelo laborioso entalhamento, em bloco de madeira, das letras e palavras que depois eram transferidas para o papel mediante o atrito deste no entalhe previamente coberto de tinta, até que a impressão ‘pegasse’. Esse método exigia que se entalhasse cada letra, novamente, para fazer a matriz de madeira necessária a cada página. A princípio ele divertiu-se com a idéia de fundir letras, como as usadas nos selos ou carimbos de estado, o que permitiria usá-la repetidamente. Percebeu, entretanto, que uma letra fundida desse modo não produziria impressão satisfatória se o papel fosse apenas atritado nela. Um dia, porém, enquanto observava o funcionamento de uma prensa de vinho, veio-lhe a *intuição* (o grifo é nosso) crucial. Duas ordens de pensamento — uma associada à prensa de vinho, outra associada ao carimbo — subitamente convergiram e ele viu que uma letra fundida como um carimbo poderia ser *premida* contra o papel, deixando a mais nítida impressão possível. Ali estava um meio de usar as mesmas letras indefinidamente e, ao mesmo tempo, produzir a clara impressão que não se obtinha pelo atrito. Dessa *intuição* (o grifo é nosso) nasceu a imprensa». Essa citação encontra-se no livro do Kneller, referido anteriormente.

Nas conceituações sobre a criatividade analisadas acima, surge uma questão: existirá um padrão no ato criador? Em outras palavras: existirão processos similares que caracterizam uma criação? Entre os estudiosos da criatividade, é amplamente aceite que um processo criativo é constituído basicamente de quatro etapas, podendo, no entanto, ser acrescido de mais uma. Essas quatro etapas básicas são: *preparação, incubação, iluminação e verificação*. Para Kneller, essas etapas devem ser precedidas de uma etapa chamada de *primeira apreensão* («insight»). Já para Abraham Antoine Moles em seu livro *A Criação Científica* [7], as quatro etapas básicas devem ser sucedidas por uma quinta: a *formulação*. Assim, uma pessoa ao ter uma idéia (*primeira apreensão*) sobre determinado assunto deve, primeiramente, familiarizar-se com idéias alheias sobre o assunto (ou correlatas a ele), para estudar as possibilidades de sua idéia. Esta é, em linhas gerais, a fase ou etapa da *preparação*, também conhecida como *documentação*. Depois que essas idéias são trabalhadas pelo consciente, há um período de atividade não-consciente, que pode ser longo ou curto, período esse que constitui a fase de *incubação*. (Segundo Poincaré [8], essa fase ocorre no *moi inconscient* ou *moi subliminal*). Por seu lado, a fase *iluminação* se constitui no clímax do processo criativo, ou seja, ela representa o instante em que o criador percebe que encontrou a solução de seu problema. Diz-se, também, ser esse o instante da *intuição* ou da *inspiração*. Como não cabe à natureza da *iluminação* ser certa ou errada, isto é, ser infalível, o processo criativo precisa ser completado. Aliás, isso é bem colocado pelo filósofo austríaco Sir Karl Raimund Popper (1902-) no livro *A Sociedade Aberta e Seus Inimigos* [9] ao afirmar que: — «A intuição, indubitavelmente, desempenha grande parte na vida de um cientista, assim como o faz na vida de um poeta. Leva-o a suas descobertas. Mas pode levá-lo a seus fracassos». Um exemplo disso pode ser visto na falsa previsão do planeta Vulcano, que estaria localizado, segundo o astrônomo francês Urbain-Jean-Joseph Le Verrier (1811-

-1877), entre Mercúrio e o Sol. Ora, Le Verrier e, independentemente, o astrônomo inglês John Couch Adams (1819-1892), haviam demonstrado teoricamente que as perturbações da órbita do planeta Urano eram devidas à existência de um outro planeta. Realmente, tal hipótese foi confirmada com a descoberta, em 1846, do planeta Netuno, pelo astrônomo alemão Johann Gottfried Galle (1812-1910). Em vista disso, Le Verrier, em 1855, intuiu que as precessões do periélio do Mercúrio eram devidas à presença de um cinturão de asteróides interno à órbita de Mercúrio, do qual fazia parte Vulcano. As anomalias da órbita de Mercúrio no periélio viriam a ser explicadas pela Teoria da Relatividade Geral de Einstein, formulada a partir de 1915.

Retomemos a descrição das quatro etapas do processo criativo. A *iluminação* é condição necessária à criação, mas não é suficiente. Assim, para se completar o processo criativo necessita-se da etapa da *verificação*, na qual as idéias intuídas são conscientemente elaboradas, alteradas e modificadas, e finalmente formalizadas. (Moles (op. cit.) considera a *formalização* como uma etapa isolada). Via de regra, essa etapa é muito longa e penosa, podendo mesmo durar anos, durante os quais várias verificações são realizadas, inclusive com novas intuições, até mesmo de naturezas diversas, até que o criador consiga dar forma final à sua obra. A necessidade da verificação de intuições (iluminações) no processo criativo é confirmada na frase do matemático, físico e astrônomo alemão Johann Karl Friedrich Gauss (1777-1855): — «Alcansei o meu resultado, mas não sei como chegar a ele». O estágio lento e penoso da verificação é sintetizado pelo inventor norte-americano Thomas Alva Edison (1847-1931) na frase: — «Invenção: 1 % de inspiração e 99 % de transpiração». É nessa fase de *verificação* que, além de uma atividade lógico-racional, o criador precisa exercer seu sentimento crítico que lhe faz, muitas vezes, reformular a concepção inicial ou mesmo abandonar a sua obra. Em *Os Sonâmbulos* [10], Koestler descreve as tentativas feitas pelo astrônomo alemão Johannes Kepler (1571-1630) no

sentido de obter as três famosas leis que descrevem os movimentos dos planetas em torno do Sol, as quais, nas formulações finais, quase nada conservam de suas idéias iniciais. Por seu lado, Kneller (op. cit.) nos fala de poemas que retêm somente algumas frases da inspiração inicial, ou mesmo de outros que ficaram incompletos como alguns escritos por Coleridge. Do exposto acima, podemos dizer que a criatividade é constituída de características «dionisíacas» (intuitivas) e «apolíneas» (lógico-racionais) ⁽²⁾. Concluindo esse pequeno estudo sobre a criatividade, podemos sintetizá-la no postulado do cientista brasileiro Maurício Oscar da Rocha e Silva (1910-1983): — «A criatividade científica deve ser livre, até o ponto em que os seus frutos foram colhidos» [11].

Depois dessa digressão sobre a criatividade, voltemos à intuição por ser ela o objeto principal deste trabalho. A intuição como fonte de conhecimento vem sendo estudada desde quando o filósofo grego Platão (c. 428-c. 348) falou pela primeira vez de uma *intuição espiritual*, de uma intuição no sentido estrito do termo, diferente da *intuição sensível*. Para ele, as *Idéias* são percebidas imediata e espiritualmente pela razão. Trata-se, como se vê, de uma intuição estritamente *racional*. A distinção entre esses dois tipos de intuição é bastante clara. Por exemplo, é através da intuição sensível que percebemos as cores e as formas dos corpos. No entanto, é somente através da intuição espiritual que conseguimos distinguir, por exemplo, um objeto azul de um verde, ou um objeto esférico de um cilíndrico. Ora, sendo o conhecimento, de um modo geral, representado por uma relação entre sujeito e objeto, conforme nos ensina Johannes Hessen em seu livro intitulado *Teoria do Conhecimento* [12], vê-se que a intuição sensível é inerente a todo sujeito e decorre de uma relação direta entre ele e o objeto, sem a intervenção do intelecto.

⁽²⁾ Para entender o significado das expressões «dionisíaca» e «apolínea» na Ciência, o leitor deverá consultar o livro do físico e filósofo da Ciência, o norte americano Gerald James Holton (1922-), *A Imaginação Científica* (Zahar Editores, 1979. (Tradução: Waltensir Dutra)).

Por seu lado, a intuição espiritual exige um pensamento por parte do sujeito ao relacionar-se com o objeto.

A intuição platônica das *Idéias* foi retomada pelo filósofo egípcio Plotino (205-270) que a substituiu, no entanto, pela intuição do *Nus Cósmico*. Assim, nossas idéias são uma pura manifestação do *Nus*, ou seja, o nosso espírito é uma emanção do *Espírito Cósmico*. Para Plotino, além dessa intuição do *Nus*, que continua sendo uma atividade puramente intelectual, existe uma outra manifestação intuitiva. Assim é que no livro *Enneads* [13], ele observa que a contemplação de Deus não é puramente racional, pois está fortemente impregnada de elementos emocionais. Portanto, Plotino reconhece que existe também uma *intuição emotiva* ou *emocional*. Esta intuição teve seu grande momento com Santo Agostinho (354-430), já que ele substituiu o *Nus* de Plotino pelo *Deus* do Cristianismo. Apesar de Santo Agostinho afirmar que as verdades e os conceitos supremos são iluminados por *Deus* para o nosso espírito, ou seja, que o conhecimento provém da iluminação divina, ele admite, também, conhecimento através da experiência. Assim, para o autor de *Confissões*, o conhecimento procede da iluminação divina ou da razão humana, segundo nos fala Hessen (op. cit.). A intuição emotiva como uma forma de conhecimento foi reconhecida por vários filósofos, conforme nos conta Hessen e Manoel Garcia Morente em seu *Fundamentos da Filosofia* [14], reconhecimento esse sintetizado pelo matemático, físico e filósofo francês Blaise Pascal (1612-1662), na seguinte frase: — «Le coeur a ses raisons, que la raison ne connaît pas».

Vimos, até aqui, que a intuição nos proporciona conhecimento, quer através da razão, quer através da emoção. No entanto, a estrutura psíquica do sujeito é constituída de três órgãos cognoscentes: *Pensamento*, ligado à *razão*; *Sentimento*, ligado à *emoção*; e a *Vontade*, ligado à *volição*. Por seu lado, todo objeto apresenta três aspectos: *Essência*, *Valor* e *Existência*, ligados, respectivamente, à *razão*, à *emoção* e à *volição*. Assim, uma questão que surge naturalmente é a de saber se existe uma

intuição volitiva. Sim, existe, e um dos primeiros filósofos a senti-la foi o alemão Johann Gottlieb Fichte (1762-1814) ao observar que a existência do Universo e a própria existência do sujeito dependem de uma afirmação voluntária do próprio sujeito, o que significa dizer que o sujeito ao afirmar-se a si próprio, ou ao afirmar a existência de um objeto, ele o faz por vontade própria e não por pensamento. Um dos pontos altos da intuição volitiva encontra-se nos escritos do filósofo alemão Wilhelm Dilthey (1833-1911) ao afirmar que a existência das coisas não pode ser demonstrada pela razão, não pode ser descoberta pelo pensamento e sim, ela deve ser intuída por nossa vontade, uma vez que antes de pensarmos, nós desejamos, nós queremos, isto é, antes de sermos entes de pensamento, somos entes de desejos, vontades, de apetites, conforme salienta Morente (op. cit.). Assim, o que acabamos de expor sobre a intuição pode ser resumido no seguinte: — Por meio da intuição racional ou intelectual o sujeito percebe que o objeto *está*, isto é, sua essência; por meio da intuição emotiva o sujeito percebe o valor do objeto; e por fim, por intermédio da intuição volitiva o sujeito percebe que o objeto *é*, ou seja, que ele existe.

Apesar de filósofos e físicos aceitarem a idéia de que existe uma etapa ilógica e não-consciente no processo criativo científico, eles, no entanto, não questionam a natureza cognoscente de tal etapa, isto é, se racional, emotiva ou volitiva. Contudo, essa questão é mais ampla pois se estende também à criação artística. Pois bem, não é raro ouvirmos dizer que existe estreita ligação entre o gênio e a loucura. Aliás, essa afirmação já se encontra nos escritos dos filósofos antigos, conforme salienta o escritor brasileiro Ciro dos Anjos em seu livro *A Criação Literária* [15], ao observar que «os antigos viam na criação poética uma forma de demência; a esse respeito Demócrito, Platão, Aristóteles e Horácio se acham de pleno acordo». Não obstante os românticos persistirem nesse parentesco entre o criador e o louco, uma relação entre expressão e criação começa a ser ressaltada depois que as artes

libertam-se do «princípio da imitação da realidade», e começa-se a dar importância à personalidade do artista no ato criador. A atenção, portanto, desloca-se do objeto para o sujeito. Assim, o ideal artístico deixa de consistir na imitação da Natureza para se transformar na expressão dos sentimentos, dos desejos e das aspirações do artista, como acentua Vítor Manuel Aguiar e Silva em sua *Teoria da Literatura* [16]. Hoje, acredita-se que a criação artística seja uma mistura de pensar, sentir e querer, apesar de que existam poetas que acreditam que a criação poética seja oriunda apenas do pensar e não do sentir, já que o sentir pertence a quem aprecia a obra de arte. Isto é claramente visto no poeta brasileiro João Cabral de Melo Neto e particularmente em seu poema *Psicologia da Composição* publicado em Barcelona em 1947, no qual escreveu: — «Saio de meu poema como quem lava as mãos» (3).

Conforme salienta Hilgard [17], a criação é a mesma quer seja artística ou científica ou, segundo suas próprias palavras: — «Creative thinking goes on both in artistic production and in scientific discovery. Whereas the scientist is bent upon the discovery of fact and principles (and the invention and applications of theories), the artist seeks to interpret imaginatively things, relationships, or values as he perceives them (...) both artist and scientist may have the thrill of discovery or of invention; both may have a period of incubation before their thoughts are clarified through a 'hunch' or inspiration». Portanto, cremos que, semelhante à criação artística, a criação científica é uma mistura das três intuições: racional, emotiva e volitiva. Porém, a nosso ver, em cada situação determinada, há predominância de uma delas sobre as outras duas. Em vista disso, através de vários exemplos de intuições científicas que abordaremos neste trabalho (o maior número de exemplos será tomado na Física), poderemos tentar uma classificação «ingênua» de tais intuições: 1) *intuições emotivas* são aquelas que resultam em idéias isoladas, e que estão além da compreensão de quem as teve e, na maioria das

vezes, estão fora do paradigma (4) científico vigente. Em tais situações, o *sentir* é mais forte do que *pensar*; 2) *intuições racionais* são aquelas que decorrem de trabalhos conscientes sobre determinado problema e que, na maioria das vezes, ocorre fora do ambiente de trabalho. Nestes casos, a *razão* (5) predomina sobre o *sentimento* ou sobre a *volição*; 3) *intuições volitivas* são aquelas que resultam de acidentes verificados no ambiente de trabalho de quem as teve, e para as quais a atenção do cientista não estava voltada. A partir da *existência* do fenômeno inesperado, surgem então idéias novas relacionadas com o mesmo. Apesar de que, nestes casos e a nosso ver, a *volição* prevalecer sobre a *razão*, esta encontra-se também presente pois, como bem acentua Bronowski (op. cit.), «só uma mente inquisidora é capaz de transformar um acidente num ato providencial». Aliás, ter uma mente aberta em relação ao acaso já havia sido preconizado pelo filósofo grego Xenófanes, que floresceu no século V a.C., ao afirmar: — «Quem não espera o inesperado, não o perceberá» (6).

Vejamos alguns exemplos dos três tipos de intuição, segundo a «classificação» que fizemos acima. Começemos com as *intuições isoladas ou emotivas*. Segundo Schenberg, em seu livro *Pensando à Física* [18], o físico e matemático inglês Sir Isaac Newton (1642-1727) foi pró-

(3) Agradeço a minha mulher Célia, Professora de Teoria Literária da Universidade Federal do Pará, por ter-me chamado a atenção para esse poema, bem como pelas discussões sobre criação artística. É oportuno salientar que o filósofo e crítico literário brasileiro Benedito José Vianna da Costa Nunes (1929-) em *João Cabral de Melo Neto* (Editora Vozes, 1971) faz uma análise do rompimento do lirismo por parte desse nosso poeta.

(4) Estamos usando o termo paradigma no mesmo sentido usado por Thomas S. Kuhn em *A Estrutura das Revoluções Científicas* (Editora Perspectiva, 1975. (Tradução: Beatriz Vianna Boeira e Nelson Boeira)).

(5) Cremos ser importante chamar atenção para o fato de que estamos usando a *razão* como um conceito filosófico e não psicanalítico.

(6) Citado por Popper, em seu livro *Conjecturas e Refutações*. (Editora da Universidade de Brasília, s/d. (Tradução: Sérgio Bath)).

digo em tais intuições. Por exemplo, em seu livro *Optics* [19], publicado em 1704, ele revela sua intuição sobre a natureza elétrica das forças dentro de um átomo, numa época em que nada se sabia sobre eletricidade e muito menos sobre átomos. Essa hipótese de Newton só foi confirmada cerca de 200 anos depois, com o advento da Teoria Atômica, desenvolvida a partir de fenômenos puramente atômicos, ocorrida nas últimas décadas do século XIX, como se pode ver em nossa *Crônica da Física Moderna* [20].

Apesar de Newton haver formulado uma teoria corpuscular da luz, o aspecto ondulatório da mesma não lhe era desconhecido. Assim é que, ainda em seu *Optics*, ele fala das experiências do físico italiano Francesco Maria Grimaldi (1618-1663) a respeito da difração da luz, experiências publicadas somente em 1665, após a morte de Grimaldi. Newton, ainda nesse mesmo livro, fala das experiências realizadas em 1669 pelo médico dinamarquês Erasmus Bartholinus (1625-1698) sobre a dupla refração. Para poder interpretar tais fenômenos, Newton intuiu que, no caso da difração da luz através de uma fenda (como foi observada por Grimaldi), as regiões claras e escuras da figura de difração estariam ligadas ao acesso («fits») que os corpúsculos de luz teriam ao passar ou não pela fenda e, uma vez passados pela fenda, tais corpúsculos poderiam ir ou não para um lado ou para o outro lado da referida fenda. Aliás, a idéia de que a luz teria «lados», também foi utilizada pelo grande sábio inglês para explicar a dupla refração sofrida pela luz ao atravessar o espato-de-islândia, como observara Bartholinus. Newton, de maneira emotiva, intuiu assim, a idéia de «transversalidade» da luz, porém não a compreendia inteiramente. Essa idéia foi retomada pelo físico e médico inglês Thomas Young (1773-1829), em 1817 [21], somente depois de não haver mais dúvidas sobre o caráter ondulatório da luz, caráter esse outra vez evidenciado na experiência sobre interferência da luz realizada pelo próprio Young, em 1801, e na experiência de polarização da luz realizada

pelo físico francês Étienne Louis Malus (1775-1812), em 1808.

O estudo das propriedades magnéticas da matéria (dia, para ou ferromagnetismo), nos leva a mais um exemplo de intuição isolada ou emotiva. Vejamos qual. Em 1895, em sua tese de doutramento, o físico francês Pierre Curie (1859-1906; PNF, 1903) mostrou que a susceptibilidade magnética de um material paramagnético (oxigênio, por exemplo) variava na razão inversa de sua temperatura absoluta — hoje conhecida como *lei de Curie* —, e que uma substância ferromagnética comporta-se como uma substância paramagnética quando sua temperatura ultrapassa uma temperatura crítica, hoje conhecida como *temperatura de Curie*. Ora, tais leis empíricas precisavam, portanto, receber explicação teórica. Assim, para explicar o paramagnetismo, o físico francês Paul Langevin (1872-1946), em 1905, intuiu que os materiais paramagnéticos apresentavam momentos magnéticos (atômicos ou moleculares) permanentes (?), e, com isso, conseguiu demonstrar a lei de Curie. Nessa demonstração, Langevin partiu da hipótese de que uma amostra de material paramagnético, numa dada temperatura e colocada num campo magnético externo, apresentava seus momentos magnéticos permanentes distribuídos espacialmente e obedecendo à distribuição de Boltzmann, da Mecânica Estatística. A relevância dessa intuição (emotiva) de Langevin prende-se ao fato de que se ele fizesse um cálculo rigoroso do momento magnético, cálculo esse baseado na teoria clássica lorentziana dos elétrons (1892), isto é, se ele exprimisse o momento magnético atômico ou molecular como função das coordenadas e das velocidades dos elétrons que o compõem, ele chegaria a um resultado nulo, indicando que o paramagnetismo é incompatível com a Mecânica e o Eletromagnetismo Clássicos, conforme nos fala Anatole Abragam em seu livro *Réflexions d'un Physicien* [22]. Portanto, quando Langevin intuiu

(?) Essa idéia já havia sido suscitada pelo físico alemão, Wilhelm Eduard Weber (1804-1891), em 1852. (Cf. ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA, 7. 1978. Macropaedia. The University of Chicago).

que o momento magnético do átomo ou da molécula tem um valor fixo, ele o estava quantizando sem o saber. Essa quantização foi determinada experimentalmente em 1922, pelos físicos alemães Otto Stern (1888-1969; PNF, 1943) e Walther Gerlach (1899-1979), ao observarem a deflexão de um feixe de átomos de prata movendo-se através de um campo magnético inhomogêneo. Nessa experiência, evidenciaram não só a existência de momentos magnéticos⁽⁸⁾, bem como a sua quantização espacial. Desse modo, o resultado encontrado por Stern-Gerlach mostrou que os elétrons atômicos não podiam tomar qualquer orientação espacial como fora sugerido por Langevin e sim, somente determinadas posições no espaço. A fórmula de Langevin foi modificada pelo físico francês Léon-Nicholas Brillouin (1889-1969), em 1927, o qual utilizou-se da Mecânica Quântica [23].

Até aqui, vimos alguns exemplos de intuições isoladas ou emotivas, que é um dos três tipos de intuição que acreditamos participarem do processo criativo científico. Assim, em prosseguimento ao estudo de tais intuições, vamos examinar agora alguns exemplos de *intuições racionais*. Conforme vimos anteriormente, essas intuições decorrem de trabalhos conscientes sobre determinado assunto e que, no entanto, afloram à mente do cientista em lugares os mais insólitos. O exemplo clássico desse tipo de intuição e, por isso mesmo, é sempre citado em toda literatura sobre criatividade, é o da descoberta das funções fuchsianas por Poincaré. (Aliás, conforme já dissemos, foi essa descoberta que levou Poincaré à formulação de sua «teoria da criação matemática»). Vejamos como chegou até ela. Desde jovem ele se preocupou com um tipo de função que generalizasse as funções conhecidas da análise elementar (circular, hiperbólica e elíptica), conhecida como função automórfica. Um tipo desta, a que generaliza a função elíptica, já havia sido descoberta em 1866, pelo matemático alemão Lazarus Fuchs (1833-1902). Pois bem, muito embora continuasse a procurar outra dessas funções, Poincaré não a encontrava, até

que um certo dia ele a encontrou. Porém, deixemos que ele próprio descreva esse episódio, como o fez em seu *Science et Méthode* (op. cit.):

«Durante 15 dias, lutei para provar que não podia haver qualquer função como aquela que passei a chamar de funções fuchsianas. Eu era bem ignorante nessa época; todo dia sentava à mesa de trabalho, ficava uma ou duas horas, tentava um grande número de combinações e não alcançava resultado algum. Uma noite, contrariando meus hábitos, tomei café e não consegui dormir. Milhares de idéias me surgiram na cabeça; eu as sentia se entrechocando, até que se foram formando pares, por assim dizer, em uma combinação estável. Na manhã seguinte, eu tinha estabelecido a existência de uma classe de funções fuchsianas, aquelas que vêm das séries hipergeométricas; precisei apenas escrever os resultados, o que levou poucas horas. Então, quis representar essas funções pelo quociente de duas séries; essa idéia foi perfeitamente consciente e deliberada, a analogia com funções elípticas me guiou. Eu me perguntei que propriedades essas séries deveriam ter caso existissem e consegui, sem dificuldade, formar a série que chamei de 'teta-fuchsiana'. Exatamente nessa época, deixei Caen, onde estava vivendo, para fazer uma excursão geológica sob os auspícios da Escola de Minas. As mudanças da viagem fizeram-me esquecer o trabalho matemático. Chegando a Coutances, entramos em um ônibus para ir a algum lugar. No momento em que coloquei o pé no degrau me veio a idéia, sem que nada em meus pensamentos anteriores tenha preparado o caminho para

(8) O nome *magneton de Bohr*, para a unidade fundamental de momento magnético, foi sugerido em 1920, pelo físico austríaco Wolfgang Pauli Junior (1900-1958; PNF, 1945). (Cf. Mehra e Rechenberg. *The Historical Development of Quantum Theory*, Volume, 1, parte 2. Springer-Verlag, 1982).

isso, de que as transformações que eu tinha usado para definir as funções fuchsianas eram idênticas às da geometria não-euclidiana. Não verifiquei a idéia, não teria tido tempo para isso, pois, assim que tomei lugar no ônibus, continuei uma conversa já iniciada, mas tive a perfeita certeza. De volta a Caen, eu verifiquei o resultado depois de estar com a cabeça repousada e consciente».

Assim, depois de estudar esse assunto, Poincaré publicou cinco artigos referentes ao mesmo, entre 1882 e 1884, na *Acta Mathematica*, revista essa que acabara de ser fundada. Aliás, é oportuno observar que o grande matemático alemão, Leopold Kronecker (1823-1891) quando leu o primeiro desses cinco artigos, que inclusive iniciara aquela revista, advertiu o editor da mesma, Mittag-Leffler, que a imaturidade e a obscuridade desse artigo de Poincaré poderia matar esse jornal, segundo nos conta Morris Kline [24].

Em Física, existem dois exemplos históricos dessas *intuições racionais*. O primeiro deles é devido ao matemático, físico e engenheiro grego Arquimedes (287-212), por ocasião de sua descoberta do *princípio da flutuabilidade*, cuja experiência que levou a tal descoberta foi descrita pelo arquiteto romano Marcus Vitruvius Pollio (c. 70 a.C. - ?) em seu famoso livro *De Architectura*. Segundo Vitruvius, Hierão II, rei de Siracusa, desconfiava haver sido enganado por um ourives, que teria misturado prata na confecção de uma coroa de ouro, e pediu a Arquimedes que verificasse a veracidade de sua suspeita. A partir daí, deixemos que o próprio Vitruvius descreva o desenrolar dos acontecimentos ⁽⁹⁾:

«Enquanto Arquimedes pensava sobre o problema, chegou por acaso ao banho público, e lá, sentado na banheira, notou que a quantidade de água que transbordava era igual à porção imersa de seu corpo. Isto lhe sugeriu um método de resolver o problema, e sem demora saltou alegremente

da banheira e, correndo nu para casa, gritava bem alto que tinha achado o que procurava. Pois, enquanto corria, gritava repetidamente em grego 'Eureka!' 'Eureka!'. Em seguida à descoberta, teria tomado duas massas com o mesmo peso da coroa, uma de ouro e outra de prata. Enchendo com água um grande vaso, nele mergulhou a massa de prata. Seu peso correspondia à água que transbordava do vaso. Removeu então a massa de prata e tornou a encher o vaso com a mesma quantidade de água que transbordara, de maneira que a água voltou ao nível anterior, até a borda. Descobriu assim que o peso da prata equivalia à determinada medida de água».

Ainda segundo Vitruvius, ao repetir a mesma experiência com a massa de ouro e com a própria coroa de ouro de Hierão II, ao medir os respectivos volumes de água deslocados, Arquimedes determinou a quantidade de prata contida na coroa e comprovou, dessa maneira, a fraude do ourives. O resultado de tal experiência levou Arquimedes a repeti-la com outros corpos e, ao fazer o estudo teórico da flutuabilidade de corpos, basicamente de formas parabolóides chegou à seguinte conclusão: — «Quando um corpo flutua em um fluido, seu peso é igual ao do fluido deslocado e, quando submerso, seu peso diminui daquela quantidade». Este é portanto o *princípio da flutuabilidade*, hoje conhecido como *princípio de Arquimedes*, e encontra-se muito bem descrito no livro do próprio Arquimedes intitulado *On Floating Bodies* [25].

O segundo dos exemplos históricos sobre intuições racionais a que nos referimos acima, é, como se sabe, devido a Newton por ocasião da descoberta da *lei da gravitação universal*, que deveu-se à intuição que tivera ao ver cair

⁽⁹⁾ As citações utilizadas são devidas a H. Moyses Nussenzveig em *Curso de Física Básica 2* (Edgard Blücher Ltda., 1981) e por W. I. B. Beveridge em *Sementes da Descoberta Científica* (T. A. Queiroz e EDUSP, 1981. (Tradução: S. R. Barreto)).

uma maçã, em sua cabeça (para uns) ou junto a seus pés (para outros), na fazenda de sua mãe em Woolsthorpe, fazenda onde nascera e para onde se refugiara nos anos de 1665-1666, devido à grande peste que assolara a cidade de Londres por essa ocasião⁽¹⁰⁾. É oportuno lembrar que esses anos em que ficou em Woolsthorpe, foram os mais profícuos do gênio inventivo do grande sábio inglês, pois foi nesse período que fez suas principais descobertas, tais como: a potência de um binômio e sua redução a uma série (hoje, conhecido como *binômio* ou *série de Newton*), o método das tangentes (hoje, conhecido como *fórmula de interpolação de Newton*), os métodos direto e indireto das fluxões (*cálculo diferencial e integral*, como hoje são conhecidos), a decomposição espectral da luz branca do Sol (*prisma e disco de Newton*), além, é claro, da *lei de gravitação universal*. Para chegar a esta lei, Newton usou mais uma vez a sua grande intuição ao formular a hipótese de que a mesma força que atraía a maçã para baixo também mantinha a Lua presa em sua órbita. Esta era uma hipótese audaciosa, já que a filosofia aristotélica dizia que o movimento de objetos situados na Terra e no Céu era regido por leis diferentes. Essa hipótese, contudo, precisava ser confirmada. Para isso, Newton passou a comparar as forças entre Terra e Lua e entre Terra e maçã. Em 1666, conforme o próprio Newton mais tarde relatou (cf. Cortés Pla, op. cit.), ele demonstrara que aquelas forças variavam com o inverso do quadrado da distância, utilizando, nessa demonstração, a lei que o astrônomo alemão Johannes Kepler (1571-1630) havia formulado em 1619, segundo a qual «o quadrado do período dos planetas é proporcional ao cubo da distância média entre eles».

Ao fazer a comparação entre as forças Terra-Lua e Terra-maçã, Newton determinou a distância até a Lua em termos do raio terrestre. Ora, tal distância já era conhecida desde quando o astrônomo grego Hiparco de Rhodes (190-120) a calculou, por volta de

130 a.C., como sendo aproximadamente 60 raios terrestres. O raio terrestre, por sua vez, já havia sido calculado pelo astrônomo e poeta grego Eratóstenes de Cyrene (276-194), como sendo da ordem de 6500 kms. Ora, é claro que Newton utilizou um valor mais recente para o raio terrestre como, por exemplo, o que havia sido calculado pelo astrônomo e matemático holandês Willebrord van Roijen Snell (1591-1626), em 1615. Assim, ao comparar esse valor do raio terrestre com que o obtinha com a sua hipótese, encontrou uma relação de 7/8. Tal diferença parecia suficiente para negar sua hipótese.

Muito embora essa discrepância encontrada por Newton pudesse desestimulá-lo no sentido de aceitar sua hipótese da universalidade da força gravitacional, contudo, o que o fez abandonar o problema da gravitação por quase 20 anos, foi o fato de que não conseguira demonstrar que a Terra pudesse ser reduzida a um ponto central, ao tratar o problema da atração lunar. Veio a conseguir essa demonstração somente em 1685, segundo falam seus biógrafos, entre os quais Cortés Pla (op. cit.) e Lorde Keynes [26]. Assim, em seu famoso *Mathematical Principles of Natural Philosophy* [27], publicado pela primeira vez em 1687, Newton afirma que todos os corpos no Universo estão submetidos a uma força universal de ação à distância — *a força gravitacional* — e, com isso, segundo fala Leite Lopes em *L'Image Physique du Monde: de Parménide*

(10) Essa história foi contada ao mundo científico pelo famoso escritor francês, François-Marie Arouet Voltaire (1694-1778), ao divulgar em França a obra de Newton, através de seu livro *Éléments de Philosophie de Newton*, publicado em 1738. Nesse livro, Voltaire conta que uma sobrinha de Newton, Madame Conduit (Catalina Barthon), foi quem lhe deu a informação de que a idéia de Newton sobre a atração universal lhe foi sugerida pela queda de uma fruta em sua fazenda. Essa citação encontra-se no livro de H. Moysés Nussenzveig, intitulado *Curso de Física Básica 1* (Edgard Blücher Ltda, 1981) e no livro *Isaac Newton* (Espasa — Calpe Argentina, S.A., 1945) de Cortés Pla.

à Einstein [28], consegue a segunda teoria unificada em Física. Ainda segundo Leite Lopes, a primeira fora feita por Galileu, em 1602, ao propor a idéia de um Universo aberto anti-aristotélico, unificado e governado pelas mesmas leis universais, ou seja, a idéia de que as leis do Céu e da Terra se fundem numa mesma lei.

Como exemplo final de intuição ocorrida a um pesquisador fora de seu local de trabalho, vamos descrever o acontecido com o físico norte-americano Donald Arthur Glaser (1926-), e que levou à invenção da *câmara de bolhas*. Durante o trabalho na Universidade de Michigan, sua atenção foi voltada para a *câmara de névoa* ou *de Wilson*, utilizada na detecção de partículas elementares. Apesar do aperfeiçoamento introduzido a essa câmara pelo físico inglês, Patrick Maynard Stuart Blackett (1897-1974), em 1931, ela apresentava algumas limitações para seu uso. Por exemplo, partículas de energia extremamente elevada, tais como as encontradas nos raios cósmicos ou produzidas em aceleradores, produziam trajetórias tão longas que não eram totalmente contidas em tais dispositivos. Por outro lado, a baixa densidade do gás (pouca matéria por unidade de volume) nessas câmaras significava que a maior parte das partículas escapava das mesmas antes de deixar traços que as identificassem.

Pois bem, eram esses alguns dos problemas apresentados pelas câmaras de Wilson e que, certamente, preocupavam os físicos experimentais que trabalhavam com ela e, entre eles, encontrava-se Glaser. Certo dia, como nos fala James Trefil em seu livro *From Atoms to Quarks* [29], ao tomar uma cerveja num bar em Ann Arbor, Glaser percebeu que a cerveja ao ser aberta, começava a borbulhar. Então veio-lhe a intuição de construir um dispositivo semelhante à câmara de névoa e baseado no mesmo princípio que faz a cerveja borbulhar. Ora, pensou Glaser, quando se alivia bruscamente a pressão exercida sobre um líquido no limite de ebulição, forma-se um grande número de bolhas durante o estado metaestável entre

as fases gasosa e líquida. Porém, aumentando-se a pressão, as bolhas desaparecem. Com essa idéia em mente, Glaser passou a construir, em 1952, a sua *câmara de bolhas*. Tomou inicialmente o éter etílico e o manteve em uma temperatura acima de seu ponto normal de ebulição, mas impedido de ferver pela aplicação de uma pressão, tornando-o, pois, um líquido superaquecido. Assim, quando partículas carregadas (ionizantes) atravessam o líquido no momento de uma descompressão adiabática, havia formação de pequenas bolhas ao longo da trajetória de tais partículas, de maneira análoga à formação de gotículas de névoa na câmara de Wilson. Quando as bolhas crescem o suficiente, dispara-se um poderoso «flash» eletrônico e fotografias estereoscópicas da câmara são então efetuadas. Glaser observou posteriormente que a substituição do éter etílico pelo hidrogênio líquido aumentava a eficiência de sua câmara. Convém observar que a grande vantagem da câmara de bolhas em relação à de névoa, decorre do fato de que a substituição do gás super-saturado pelo líquido super-aquecido, faz com que haja um aumento de mais de mil vezes na densidade da câmara, possibilitando, dessa maneira, o maior número de colisões entre as partículas ionizantes e os alvos (partículas constituintes do líquido da câmara) e, em consequência, as trajetórias das partículas que estão sendo observadas se tornam mais curtas. Essa invenção de Glaser, deu-lhe o Prêmio Nobel de Física de 1960.

Após havermos estudado alguns exemplos de *intuições racionais*, concluiremos este trabalho sobre o papel da intuição no processo criativo científico, examinando algumas *intuições volitivas*. Lembremos que definimos essas intuições como as que resultam de acidentes verificados por ocasião do trabalho desenvolvido por uma cientista, porém sem nenhuma relação com o mesmo. No entanto, a partir da *existência* do fenômeno inesperado, ele intui novas idéias relacionando-as com esse mesmo fenômeno. Existem descobertas acidentais (conhecidas também com o nome de *serendi-*

pitidades ⁽¹¹⁾) famosas na ciência médica, como por exemplo, a da penicilina em 1928, pelo bacterologista inglês, Sir Alexander Fleming (1881-1951; PNF, 1945) e a do tratamento da depressão psicótica pelo lítio, feita em 1948, pelo psiquiatra John Cade, e muito bem descritas por Beveridge (op. cit.). No entanto, neste trabalho nós nos deteremos apenas em alguns exemplos ocorridos em Física.

Começamos pelo ocorrido com Fermi por ocasião de sua descoberta do processo de obtenção de nêutrons lentos. Na primeira metade da década de 1930, após a descoberta do nêutrons pelo físico inglês, Sir James Chadwick (1891-1974; PNF, 1935), em 1932, e da descoberta da radioatividade artificial pelo casal de físicos franceses, Irène (1897-1956; PNQ, 1935) e Jean-Frédéric Joliot-Curie (1900-1958; PNQ, 1935), em janeiro de 1934, uma das principais linhas de pesquisa em Física Nuclear era o estudo da radioatividade artificial induzida por nêutrons. Assim, Fermi e seus colaboradores ⁽¹²⁾ da Universidade de Roma — conhecido como *o grupo de Roma* — a partir de janeiro de 1934 começaram a bombardear com nêutrons todos os elementos químicos em ordem de número atômico crescente: hidrogênio, lítio, berílio, boro, carbono, nitrogênio e oxigênio. No entanto, a tentativa de obterem isótopos radioativos de tais elementos, malogrou. Conseguiram, porém, êxito com o fluor ao obterem um isótopo radioativo desse elemento. Esse trabalho sistemático de bombardeamento de elementos químicos por nêutrons prosseguiu até que, em maio de 1934, o grupo irradiou o mais pesado dos elementos até então conhecidos — o urânio. Apesar do apuro experimental com que realizaram esta última experiência, o resultado da mesma apresentava-se confuso, pois encontraram diversos períodos radioativos. Em vista disso, acreditaram haver obtido um novo elemento químico transurânico, o qual chegou a ser denominado por Fermi de *urânio-X*. Essa dificuldade não impediu que Fermi e seu grupo continuassem o trabalho sobre radioatividade induzida por nêutrons e, mais ainda, que Fermi fizesse uma

descoberta acidental, no dia 22 de outubro de 1934, conhecida hoje como processo de obtenção de nêutrons lentos. Tal descoberta foi descrita por Fermi em uma conversa com o astrofísico indiano Subrahmanyam Chandrasekhar (1910- ; PNF, 1983) da seguinte maneira [30]:

«—Estávamos trabalhando com afincos na radioatividade induzida por nêutrons e os resultados que estávamos obtendo não faziam sentido. Certo dia, quando cheguei ao laboratório, ocorreu-me a idéia de que deveria examinar o efeito da colocação de uma peça de chumbo diante dos nêutrons incidentes. E, ao contrário de meu costume, esmerei-me em ter a peça de chumbo precisamente elaborada, isto é, nas medidas e especificações precisas. Eu estava claramente insatisfeito com alguma coisa; tentara todas as ‘desculpas’ para adiar a colocação de peça de chumbo em seu lugar. Quando finalmente, com alguma relutância, ia colocá-la em seu lugar, disse para mim mesmo: —‘Não, não quero aqui esta peça de chumbo; o que quero é uma peça de parafina’. Foi assim mesmo sem advertência prévia, sem raciocínio consciente anterior. Imediatamente apanhei o primeiro pedaço de parafina que apareceu na minha frente e coloquei-o onde a peça de chumbo deveria estar».

⁽¹¹⁾ A palavra *serendipidade* («serendipity») foi inventada pelo escritor inglês, Horace Walpole (1717-1797), em 1754, para representar as descobertas acidentais. Para tal, baseou-se no seguinte conto de fadas persa: A Princesa de Serendipe — antigo nome do Ceilão — tinha três pretendentes e a cada um incumbiu uma tarefa impossível: fracassaram todos três, mas, no decorrer de seus heróicos esforços cada qual, no entanto, fez descobertas afortunadas e inesperadas, por mero acidente, segundo nos contam Lynn White Jr., em *As Fronteiras do Conhecimento* (Editora Fundo de Cultura, s/d. (Tradução: Almira Guimarães)) e W. I. B. Beveridge (Op. cit.).

⁽¹²⁾ O grupo de Roma era constituído por Enrico Fermi, Edoardo Amaldi, Oscar d’Agostino, Franco Rasetti, Emilio Gino Segré, e Bruno Pontecorvo.

Ao perceber que os nêutrons tinham sua velocidade reduzida devido a colisões elásticas com a parafina (substância rica em hidrogênio), Fermi intuiu volitivamente que tais nêutrons seriam mais efectivos que os rápidos (estes, oriundos de uma fonte de radônio e berílio) na produção de certas reações nucleares, pois, por serem lentos, eram mais facilmente absorvidos. De posse dessa nova técnica, Fermi e seu grupo passou a realizar experiências com esse tipo de nêutrons, posteriormente denominados de *nêutrons térmicos*. Apesar do sucesso dessa técnica, o grupo de Roma não foi capaz de perceber que tais nêutrons eram a chave da fissão nuclear, o que só ocorreu muito mais tarde quando Fermi já se encontrava nos Estados Unidos, ocasião em que realizou a primeira fissão nuclear controlada, no dia 2 de dezembro de 1942, no pátio da Universidade de Chicago. Contudo, esse êxito de Fermi deve-se não só ao seu próprio trabalho, como também à experiência dos químicos alemães, Otto Hahn (1879-1968; PNQ, 1944) e Fritz Strassmann (1902-1980) realizada em 1939, sobre a obtenção de elementos alcalino-terrosos através da desintegração do urânio bombardeado com nêutrons, e, também, à interpretação de experiências desse tipo como sendo devidas a uma fissão nuclear, pela física austríaca, Lise Meitner (1878-1968) e seu sobrinho, o físico austríaco Otto Robert Frisch (1904-1979), ainda em 1939. Nesta oportunidade, cabem aqui duas observações: a primeira, é que graças às suas experiências com nêutrons lentos, Fermi ganhou o Prêmio Nobel de Física de 1938; a segunda, refere-se ao fato de que somente em 1940, os físicos-químicos norte-americanos, Edwin Mattison McMillan (1907- ; PNQ, 1951) e Phillip Hange Abelson (1913-) conseguiram obter em laboratório o primeiro elemento transurânico — o *neptúnio*.

Encerraremos esta parte referente às *intuições volitivas* com dois exemplos históricos de serendipidade em Física: as descobertas dos raios-X e da radioatividade. Começamos pela

descoberta dos Raios-X feita pelo físico alemão, Wilhelm Konrad Roentgen (1845-1923), em 1895. O interesse principal de Roentgen relacionava-se com a luminescência (fluorescência e fosforescência) que os raios catódicos provocavam em determinados produtos químicos. Assim, com o objectivo de melhor observar esse fenômeno, no dia 8 de novembro de 1895, Roentgen escureceu sua sala de trabalho e colocou o tubo de Hittorf (produtor de raios catódicos), em uma caixa de papel preto. Ao ligá-lo, observou que uma folha de papel embebida com platino — cianeto de bário, colocada a uma certa distância do tubo, estava brilhando. Ao desligar o tubo, verificou que a luminosidade da folha desaparecia, e que voltava a brilhar tão logo o tubo fosse religado. Surpreso com o inesperado fenômeno, Roentgen resolveu investigá-lo com mais rigor⁽¹³⁾. Virou a folha embebida com o composto de prata, deslocou-a, colocou certos objetos (papel grosso e finas lâminas metálicas) entre ela e o tubo, levou-a para uma sala vizinha, etc. Por fim, por desconhecer a natureza do fenômeno que acabara de observar, intuiu então que deveria tratar-se de uma «nova espécie de raios», aos quais deu o nome de *raios-X*, por ser *X* o símbolo matemático que representa uma variável desconhecida. Assim, partindo da existência dos raios-X, Roentgen prosseguiu suas experiências no sentido de descobrir algumas de suas propriedades características. Inicialmente observou que os mesmos eram capazes de ionizar gases, e que, no entanto, não eram desviados quer por campos elétricos, quer por campos magnéticos. Em seguida, observou que os mesmos não eram nem refletidos nem refratados por determinadas superfícies. Depois de uma série de experiências realizadas por Roentgen, ele só se convenceu de sua descoberta quando conseguiu fixá-los em placas fotográficas. Em vista disso, preparou o primeiro trabalho sobre os raios-X no dia 28 de dezembro de 1895. Logo que

(13) *Acurácia* no original (alteração da responsabilidade da C. R.).

anunciou sua descoberta, muitos cientistas começaram a investigar novas propriedades dos «raios de Roentgen». É importante frisar que graças a essa descoberta, foi agraciado com o primeiro Prêmio Nobel de Física, instituído em 1901.

Ao procurar entender a natureza dos raios-X, o físico francês, Antoine Henri Becquerel (1852-1923) descobriu de modo acidental, em 1896, um novo fenômeno físico posteriormente denominado de *radioatividade*. Vejamos de que maneira ocorreu esse evento importante da História da Ciência, e que se encontra muito bem descrito por Segrè⁽¹⁴⁾. Na sessão do dia 20 de janeiro de 1896 da Academia Francesa de Ciências, Poincaré apresentou as primeiras fotografias de raios-X enviadas por Roentgen. Presente a essa sessão, Becquerel perguntou a Poincaré de que parte do tubo de Hittorf que Roentgen utilizara, haviam saídos os raios-X. — «Da parte oposta ao catodo, que se torna fluorescente», respondeu Poincaré. Sendo especialista em luminescência, especialidade que aprendera com seu avô Antoine-César (1788-1878) e com seu pai Alexandre-Edmond (1820-1891), Henri passou a realizar experiências procurando uma relação entre as substâncias fluorescentes e a emissão de raios-X por parte das mesmas. Com esse objetivo em mente, em meados de fevereiro de 1896, Henri recobriu uma chapa fotográfica com papel escuro, depois colocou cristais de sulfato de urânio-potássio (uranilo) sobre o papel, e expôs o conjunto aos raios solares. Ao revelar as chapas fotográficas, percebeu que as mesmas haviam sido veladas. A explicação que deu para o fato de ter sido impressionada a chapa fotográfica, foi a de que a luz solar provocara fluorescência nos cristais de uranilo com a emissão de raios-X. Estes, por sua vez, ao atravessarem o papel escuro que envolvia os cristais, foram impressionar a chapa fotográfica. Becquerel procurou então repetir essa experiência no final de fevereiro. Porém, o tempo nublado em Paris o impediu de realizá-la. Becquerel resolveu repetir a experiência no dia 1.º de março, mesmo que o

tempo continuasse nublado. Esperando encontrar imagens muito fracas ao revelar a chapa fotográfica, foi surpreendido com imagens de grande intensidade. Em vista disso, intuiu volitivamente que os cristais emitiam novas espécies de «raios» até então desconhecidos, descobrindo dessa maneira um novo fenômeno físico. A partir da existência desses «raios», Becquerel prosseguiu com novas experiências no sentido de estudar a natureza física dos mesmos. Assim é que, no dia 9 de março, Becquerel descobriu que esses «raios» ionizavam gases tornando-os condutores. Em vista disso, passou a utilizar um tosco electrosκόpio de folha de ouro com o objetivo de determinar a «atividade» desses «raios», o que conseguia medindo a ionização por eles produzida. Descobriu ainda Becquerel que esses novos «raios» eram emitidos pelo urânio. Ao tomarem conhecimento dessa descoberta, alguns cientistas passaram a estudar sistematicamente esse novo e revolucionário fenômeno físico. Por essa descoberta, Becquerel compartilhou com o casal Curie, o Prêmio Nobel de Física de 1903.

Ao finalizarmos este trabalho no qual procuramos destacar o papel da intuição nas descobertas e invenções na Física, é importante frisar que ele está longe de ser completo pois, como o próprio leitor percebeu (e certamente reclamou!), não fizemos nenhuma referência a conhecida intuição de físicos célebres não abordada por nós. Por exemplo, a do físico e matemático escocês, James Clerk Maxwell (1831-1879) por ocasião da formulação de sua teoria de unificação entre a Óptica, a Eletricidade e o Magnetismo (1868-1870), conforme salienta Banesh Hoffman em *L'étrange histoire des quanta* [31]; a de Einstein, por ocasião da formulação de seus dois postulados básicos da Relatividade Restrita (1905), já que, conforme salienta Holton (op. cit.), o próprio Einstein

(14) O autor refere-se ao livro de Emílio Segrè *From X-Rays to Quarks*, W. H. Freeman and Co, 1980, tradução de *Personaggi e Scoperte nella Fisica Contemporanea*, Mondadori, 1976 (N.R.).

assim os considerava; ou a de Dirac em seus trabalhos pioneiros sobre a Teoria Quântica dos Campos (1927). Também não falamos da intuição do físico francês, Nicolas-Léonard Sadi Carnot (1796-1832) sobre o princípio da conservação da energia ⁽¹⁵⁾, cuja formulação matemática foi apresentada em 1847, pelo fisiologista e físico alemão, Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz (1821-1894). Certamente o exame das obras científicas (e de biografias) desses físicos (e de outros, também) mostrarão outros exemplos sobre os três tipos de intuição que acreditamos compor o processo criativo da Física, os quais deixaremos para uma outra oportunidade ou, quem sabe, para algum leitor que acredite ser esse o caminho para o entendimento do Processo Cognitivo da Física.

(15) Para Mário Schenberg (*Pensando a Física* (Op. cit.)), a descoberta do princípio da conservação da energia foi uma das grandes conquistas da Física do século XIX.

REFERÊNCIAS

- [1] BRONOWSKI, J. — *Um Sentido do Futuro*. Editora Universidade de Brasília. (Tradução: Sérgio Bath) (1980).
- [2] ASIMOV, I. — *Os Gênios da Humanidade*. Bloch Editores. (Tradução: José Reis) (1974).
- [3] WYMER, P. — *Eureka!* Editorial Labor do Brasil S.A. (Tradução: Manoel de Seabra) (1975).
- [4] BRONOWSKI, J. — (Op. cit.).
- [5] KNELLER, G. F. — *Arte e Ciência da Criatividade*. Instituição Brasileira de Difusão Cultural S.A. — IBRASA. (Tradução: José Reis) (1978).
- [6] KOESTLER, A. H. — *The Act of Creation*. Macmillan (1964).
- [7] MOLES, A. A. — *A Criação Científica*. Editora Perspectiva e Editora da Universidade de São Paulo — EDUSP. (Tradução: Gita K. Guinsburg) (1971).
- [8] POINCARÉ, E. — *Science et Methode*. Flammarion (1918).
- [9] POPPER, K. R. — *A Sociedade Aberta e Seus Inimigos*. Editora Itatiaia e EDUSP. (Tradução: Milton Amado) (1974).
- [10] KOESTLER, A. H. — *Os Sonâmbulos*. IBRASA. (Tradução: Alberto Denis) (1961).
- [11] ROCHA E SILVA, M. O. — *Ciência e Cultura*, 23 (1): 1-7 (1971).
- [12] HESSEN, J. — *Teoria do Conhecimento*. Arménio Amado, Editor. (Tradução: Antonio Correia) (1973).
- [13] PLOTINO — *Enneads*. Great Books of the Western World (Tradução: Stephen Mackenna and B. S. Page) (1971).
- [14] MORENTE, M. G. — *Fundamentos de Filosofia*. Editora Mestre Jou. (Tradução: Guilherme de la Cruz Coronado) (1970).
- [15] ANJOS, C. — *A Criação Literária*. Tecnoprint Gráfica S. A. (1967).
- [16] AGUIAR E SILVA, V. M. — *Teoria da Literatura*. Livraria Almedina (1973).
- [17] HILGARD, E. R. — *Introduction to Psychology*. Harcourt, Brace & World, Inc (1962).
- [18] SCHENBERG, M. — *Pensando a Física*. Editora Brasiliense (1984).
- [19] NEWTON, I. — *Optics*. Great Books of the Western World (1971).
- [20] BASSALO, J. M. F. — *A Crônica da Física Moderna*. *Ciência e Cultura*, 37 (5): 735 (1985).
- [21] ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA, X — *Micropaedia*. The University of Chicago (1978).
- [22] ABRAGAM, A. — *Réflexions d'un Physicien*. Hermann (1983).
- [23] ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA, 7 — *Micropaedia*. The University of Chicago (1978).
- [24] KLINE, M. — *Mathematical Thought from Ancient to Modern Times*, Oxford University Press (1972).
- [25] ARQUIMEDES — *On Floating Bodies. Book One, Two*. Great Books of the Western World. (Tradução: Sir Thomas L. Heath) (1971).
- [26] KEYNES, J. H. — *Newton*. *Revista de Ensino de Física*, 5 (2): 43-52 (1983).
- [27] NEWTON, I. — *Mathematical Principles of Natural Philosophy*. Great Books of the Western World. (Tradução: Andrew Motta e Florian Cajori) (1971).
- [28] LETTE LOPES, J. — *L'Image physique du monde: de Parménide à Einstein*. Centre de Recherches Nucléaires, CRN/HE-O5. Strasbourg (1983).
- [29] TREFIL, J. S. — *From Atoms to Quarks*. Charles Scribner & Sons (1980).
- [30] KNELLER, G. F. — *A Ciência como Atividade Humana*. Zahar Editores e EDUSP (Tradução: Antonio José de Souza) (1980).
- [31] HOFFMANN, B. — *L'étrange histoire des quanta*. Éditions du Seuil (1981).