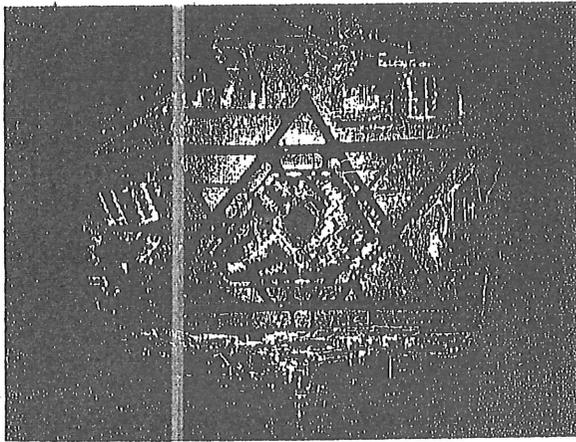


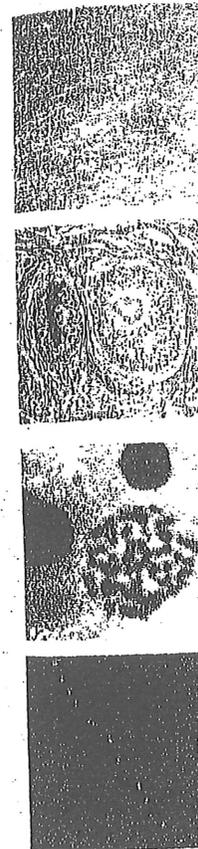
ondas de rádio (notas graves), até os comprimentos de onda mais curtos dos raios X (notas mais agudas). Vamos iluminar uma face humana com cada uma dessas ondas.

As ondas mais longas do espectro invisível são representadas pelas ondas de rádio, cuja existência foi provada há cerca de cem anos, em 1888, por Heinrich Hertz, confirmando a teoria de Maxwell. Sendo as mais longas são, também, as mais grosseiras. Uma varredura de radar, trabalhando com ondas de alguns metros, não acusará o rosto, a não ser que se trate de um rosto de alguns metros de largura, como os das esculturas mexicanas. Somente quando usamos ondas mais curtas é que vamos perceber algum detalhe nessa cabeça gigantesca: se a onda for inferior a um metro, as orelhas. E praticamente no limite das ondas de rádio, de alguns centímetros, detectamos o primeiro traço de uma figura humana ao lado da estátua.

Em seguida, olhamos a face, a face do homem, agora, através de uma câmera sensível à banda seguinte de radiações, com comprimento de onda menor do que um milímetro, os raios infravermelhos. Estes foram descobertos em 1800 pelo astrônomo William Herschel, ao notar o calor produzido quando focalizava seu telescópio para além da luz vermelha: os raios infravermelhos são raios de calor. A chapa da câmera translada a imagem dos raios infravermelhos para a luz visível segundo um código



176
Quão finos e quão exatos são os detalhes que podemos ver com os melhores instrumentos do mundo? Fotografia, por meio de radar, do Aeroporto de Londres.



Microfotografia da superfície da pele humana, 50x.
Microfotografia de um corte de pele humana, mostrando glândulas sebáceas, 200x.
O microscópio de raios ultravioletas olha para dentro da célula ao nível dos cromossomos.
Átomos de Tório.

um tanto arbitrário: os raios mais quentes aparecem em azul e os mais frios em vermelho ou simplesmente escuro. Podemos perceber os acidentes mais salientes da face: os olhos, a boca, o nariz — vemos, também, a nuvem de vapor saindo das narinas. Não há dúvida de que aprendemos algumas coisas novas sobre a face humana, mas isso sem nenhum detalhe.

Nos limites inferiores de seu comprimento de onda, alguns centésimos de milímetro ou menos, há uma transição gradual do infravermelho para o espectro visível. O filme agora usado é sensível a ambos, e a face adquire vida. Não é mais apenas a face de um homem, mas, sim, do homem que conhecemos: Stephan Borgrajewicz.

A luz branca o revela visivelmente ao olho em detalhes: a penugem, os poros da face, uma pequena mancha aqui, uma veiazinha ali. A luz branca é formada de uma mistura de comprimento de onda do vermelho, do laranja, do amarelo, do verde, do azul e, finalmente, do violeta, as ondas visíveis mais curtas. Os detalhes deveriam aparecer mais finamente quando observados através de luz violeta do que quando através de luz vermelha, mas, na prática, dentro de mais ou menos uma oitava, não há grandes diferenças.

O pintor analisa a face, isola suas partes, separa as cores, amplia a imagem. Assim, podemos perguntar: Não deveria o cientista usar um microscópio para isolar e analisar os traços mais delicados? Sim, deveria. Entretanto, devemos ter presente que embora o microscópio amplie a imagem ele não a melhora: a nitidez do detalhe é determinada pelo comprimento de onda da luz. Dessa maneira, para qualquer comprimento de onda, os raios de luz só podem ser interceptados por objetos mais ou menos das mesmas dimensões do comprimento de onda dos raios; um objeto menor simplesmente não produzirá sombra.

Uma ampliação de mais de duzentas vezes pode isolar uma única célula da pele, quando olhada com luz branca. Mas, para obter maior detalhe, precisamos de luz de menor comprimento de onda. O próximo passo seria, então, a luz ultravioleta, com comprimento de onda de um milionésimo de milímetro ou menos — mais curto para mais de dez vezes do que a luz visível. Se nossos olhos fossem capazes de enxergar com luz ultravioleta, o que veríamos seria uma paisagem fantasmagórica de fluorescência. O microscópio de luz ultravioleta olha, através de uma luz tremeluzente, o interior da célula, ampliada de três mil e qui-

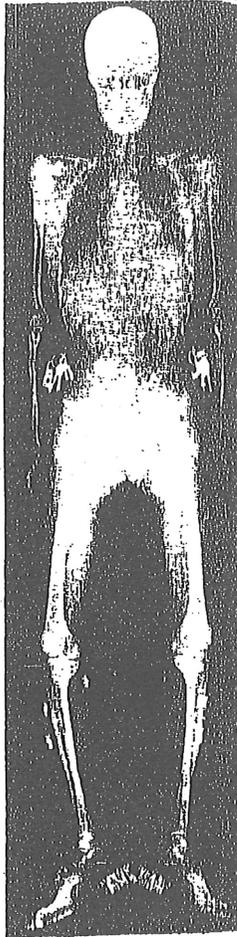
A Escalada do Homem

nhentas vezes, ao nível dos cromossomos. Mas esse é o limite: nenhuma luz irá ver os genes dentro dos cromossomos.

Uma vez mais, querendo ir mais profundamente, temos de encurtar o comprimento de onda: o próximo são os raios X. Entretanto, estes são tão penetrantes, a ponto de não poderem ser focalizados por nenhum tipo de material; não se pode construir um microscópio de raios X. Assim, temos de nos contentar em projetá-los em uma face e obter uma espécie de sombra; os detalhes dependem, agora, de sua penetração. Vemos o crânio sob a pele — por exemplo, vemos que o homem havia perdido os dentes. Esta capacidade de escrutinar o corpo conferiu grande interesse aos raios X imediatamente após terem sido descobertos por Wilhelm Konrad Röntgen em 1895; aqui estava um achado da física que parecia ter sido destinado pela natureza ao serviço da medicina. A descoberta deu a Röntgen um ar de benévola figura paterna e o primeiro Prêmio Nobel em 1901.

Algumas vezes, um feliz acaso nos leva a um resultado inesperado quando, por inferência, descobrimos algo que não pode ser visto diretamente. Os raios X não mostram os átomos, uma vez que estes são ainda muito pequenos para produzir sombras, mesmo sob esse diminuto comprimento de onda. Contudo, podemos mapear os átomos, em um cristal, porque seus espaçamentos são regulares, de maneira que os raios X produzirão um padrão regular de ondas, a partir das quais a posição dos átomos obstrutores pode ser inferida. Este é o padrão dos átomos em uma espiral do ADN: representa um retrato de um gene. O método foi inventado em 1912 por Max von Laue, e consistiu em um golpe duplo de engenhosidade, uma vez que foi a primeira prova da realidade dos átomos, e, também, a primeira prova da natureza eletromagnética dos raios X.

Ainda podemos dar mais um passo nesse sentido e chegar ao microscópio eletrônico, onde os raios são de tal maneira concentrados, a ponto de não mais podermos dizer se tratar de ondas ou de partículas. Os elétrons são disparados contra um objeto de maneira a traçar os contornos deste, à semelhança do que faz um atirador de facas em um circo. O menor objeto identificado por esse método foi um átomo isolado de Tório. Isso é espetacular. No entanto, a imagem indefinida confirma o fato de que, como acontece com as facas delineando a figura da jovem do circo, mesmo os elétrons mais duros não produzirão uma imagem

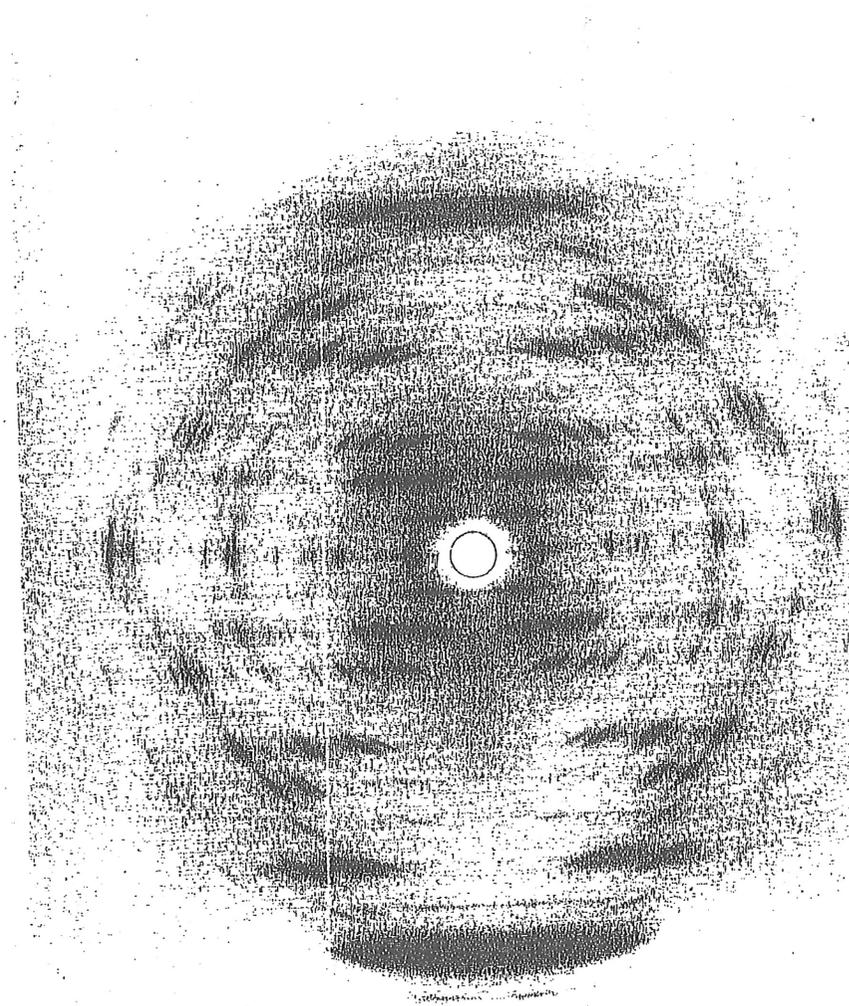


177

A exploração do corpo humano através dos raios X se iniciou tão pronto Röntgen os descobriu. Chapa original de Röntgen mostrando um homem com seus sapatos e chaves nos bolsos traseiros das calças.

178

Os raios X formam um padrão regular de franjas, através do qual a posição dos átomos interceptados pode ser inferida. Padrão de difração de raios X passando através de um cristal de ADN.



nítida. A imagem perfeita permanece ainda tão distante como a das estrelas mais remotas.

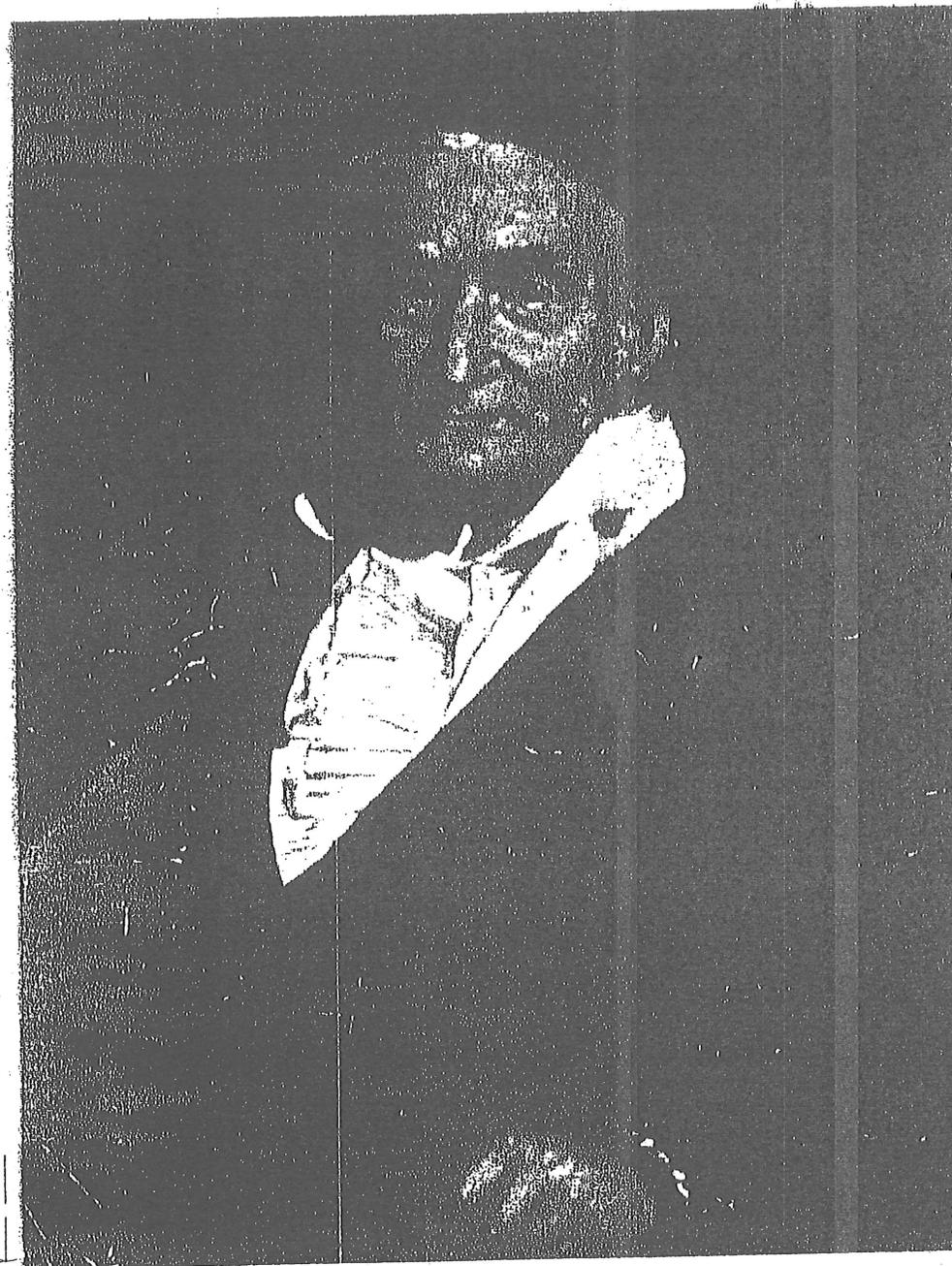
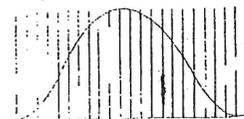
Neste ponto nos defrontamos face a face com o paradoxo fundamental do conhecimento. Ano após ano divisamos instrumentos mais precisos a fim de observar a natureza com maior precisão, mas, ao examinarmos as imagens obtidas ficamos decepcionados ao constatar serem elas ainda muito indefinidas, trazendo-nos a sensação de que a incerteza é tão grande como sempre foi. É como se estivéssemos perseguindo um objeto que foge para o infinito no momento mesmo em que o avistamos.

O paradoxo do conhecimento não está confinado à diminuta escala atômica; pelo contrário, está também presente na escala do homem, e mesmo na das estrelas. Vamos colocá-lo no contexto de um observatório astronômico. O observatório de Karl Friedrich Gauss em Göttingen foi construído em 1807. Desde então, os instrumentos astronômicos têm sido aperfeiçoados. Ao examinarmos a posição de uma estrela, tal como foi determinada naquele tempo e agora, temos a impressão de estarmos chegando perto de determinar exatamente onde ela se encontra. Entretanto, ao compararmos nossas próprias observações individuais notamos, com pesar, que elas não coincidem; esperávamos eliminar os erros humanos e sermos, nós mesmos, dotados da Visão Divina; mas o fato é que não há observação sem erro. E, note-se, tal contingência é válida tanto quando observamos estrelas ou átomos, como quando olhamos uma face humana, ou quando ouvimos contar o que o outro falou.

Gauss reconheceu esse fato com aquele gênio maravilhoso e brincalhão que sempre o acompanhou até sua morte, aos oitenta anos de idade. Contando apenas dezoito anos, ao vir para Göttingen, em 1795, a fim de ingressar na universidade, já havia resolvido o problema da melhor estimativa para uma série de observações portadoras de erros internos. Seu raciocínio de então era o mesmo que os estatísticos continuam utilizando hoje.

Ao olhar para uma estrela, um observador sabe existirem múltiplas causas de erros. Dessa maneira, ele anota várias observações na esperança de, naturalmente, encontrar, na média, a melhor estimativa da posição da estrela — o centro da dispersão dos pontos. Até aqui, o óbvio. Entretanto, Gauss foi além, e perguntou qual seria o significado de tal dispersão. O resultado apareceu na forma do que hoje é conhecido como curva gaussiana, na qual

179
O paradoxo do conhecimento não está confinado à minúscula escala atômica, ao contrário, ele é igualmente manifesto na escala do homem, e mesmo das estrelas.
Karl Friedrich Gauss.
A Curva de Gauss.



a dispersão é representada pelo desvio, ou espalhamento, da curva. A partir daí veio uma idéia de longo alcance: a dispersão representa uma área de incerteza, uma vez que não podemos estar certos de que a posição real esteja localizada no centro. Tudo o que podemos dizer é que a posição se encontra na área de incerteza, área esta passível de ser calculada a partir da dispersão das observações individuais.

Portador dessa visão sutil do conhecimento humano, Gauss se sentia particularmente irritado com aqueles filósofos que afirmavam possuir um acesso ao conhecimento muito mais perfeito do que o fornecido pela observação. Dentre muitos exemplos escolherei apenas um. Há um filósofo chamado Friedrich Hegel, a quem, devo confessar, detesto em especial, mas com certo sentimento de felicidade por constatar ser esse sentimento comum ao de um grande homem como Gauss. Em 1800 Hegel apresentou uma tese, provando que, embora a definição de planeta tenha mudado desde os Antigos, ainda poderiam existir, filosoficamente, somente sete planetas. Ora bem, não apenas Gauss sabia responder a isso; Shakespeare já havia respondido há muito tempo. Na maravilhosa passagem do *Rei Lear*, onde, quem mais poderia dizer, senão o Bobo, dirigindo-se ao Rei; "A razão por que as sete estrelas não são mais do que sete é uma razão gozada". O Rei acena astutamente e diz: "Porque elas não são oito". E o Bobo replica: "Sim, isso mesmo, e você daria um ótimo bufão". Hegel também daria. No dia primeiro de janeiro de 1801, antes de ter havido tempo para secar a tinta da dissertação de Hegel, um oitavo planeta foi descoberto — o planeta Ceres.

A história está repleta de ironias. Na curva de Gauss estava escondida uma bomba-relógio, que explodiu após a sua morte, a do descobrirmos que não temos visão divina. Os erros estão inextricavelmente ligados à natureza do conhecimento humano. Ironicamente, essa descoberta foi feita em Göttingen.

As cidades universitárias antigas são maravilhosamente parecidas entre si. Göttingen é semelhante à Cambridge da Inglaterra ou à Yale dos Estados Unidos: muito provincianas, afastadas das rotas para qualquer outro lugar — ninguém se dirige a essas paragens estagnadas a não ser para desfrutar da companhia de professores. Mas os professores estão certos de ocuparem o centro do mundo. Aqui, há uma inscrição no *Rathskeller*, onde se lê, "Extra Göttingen non est vita", "Fora de Göttingen não há vida". Este

180

*Max Born.
Born com seu filho
em Göttingen, em
1924, após ter
sido indicado para
a cátedra de
Física Teórica junto
à Universidade de
Göttingen.
Ele foi exonerado
de seu cargo
em 26 de abril
de 1933.*



epigrama, ou deveria chamá-lo epitáfio, não é levado tão a sério pelos estudantes como o é pelos professores.

O símbolo da Universidade é representado pela estátua de ferro na porta do *Rathskeller*, de uma menina com um ganso, que cada estudante tem de beijar em sua graduação. A Universidade é uma Meca, a qual os estudantes buscam com algo menos do que a perfeita fé. É importante que os estudantes sejam imbuídos de uma certa irreverência em seus estudos; eles não estão aqui para adorar, e, sim, para questionar o que é conhecido.

À semelhança de toda cidade universitária, Göttingen tem suas longas alamedas que são cenários para as caminhadas que os professores fazem depois do almoço, às vezes acompanhados de estudantes extáticos, quando aguçados com a deferência de um convite. No passado, Göttingen deve ter sido pachorrenta. As pequenas cidades universitárias alemãs são anteriores à unificação do país (Göttingen, por exemplo, foi fundada por George II, quando ainda Senhor de Hanover), e, assim, exibem um ar de burocracia local. Mesmo depois de terminado o domínio militar e o Kaiser ter abdicado em 1918, elas continuaram mais conformistas do que as universidades de fora da Alemanha.

A ligação entre Göttingen e o mundo exterior era feita através de uma estrada de ferro. Por essa via chegavam os visitantes de Berlim, e de outras cidades, ansiosos por trocar idéias sobre as questões momentosas da física que estivessem agitando o mundo lá fora. Em Göttingen, costumava-se dizer que a ciência ganhava vida no trem para Berlim, uma vez que aqui era onde as pessoas argumentavam, eram questionadas, e tinham novas idéias. E onde novas idéias eram contestadas também.

Nos anos da Primeira Guerra Mundial a ciência em Göttingen, como em toda parte, era dominada pela Relatividade. Mas, no pós-guerra, em 1921, a Cátedra de Física foi ocupada por Max Born o qual, com seus seminários, passou a atrair a atenção da comunidade dos físicos atômicos. É interessante notar que Max Born foi guindado à cátedra quando contava já perto de quarenta anos, fato incomum, pois que, de maneira geral, os físicos realizam seus melhores trabalhos antes dos trinta anos (matemáticos ainda mais cedo e biólogos talvez um pouco mais tarde). Entretanto, Born era dotado de um extraordinário dom socrático, muito pessoal. Atraía os jovens, estimulava-os, e as idéias discutidas e contestadas entre eles constituíam o melhor do seu trabalho. De entre uma multidão de nomes, qual deles deveria en-

181
Eles estão aqui
não para
reverenciar o que
já é conhecido,
mas, sim, para
questioná-lo.
A fonte de bronze
da menina com
o ganso, Praça do
Mercado de
Göttingen.



epigrama, ou deveria chamá-lo epitáfio, não é levado tão a sério pelos estudantes como o é pelos professores.

O símbolo da Universidade é representado pela estátua de ferro na porta do *Rathskeller*, de uma menina com um ganso, que cada estudante tem de beijar em sua graduação. A Universidade é uma Meca, a qual os estudantes buscam com algo menos do que a perfeita fé. É importante que os estudantes sejam imbuídos de uma certa irreverência em seus estudos; eles não estão aqui para adorar, e, sim, para questionar o que é conhecido.

À semelhança de toda cidade universitária, Göttingen tem suas longas alamedas que são cenários para as caminhadas que os professores fazem depois do almoço, às vezes acompanhados de estudantes extáticos, quando agraciados com a deferência de um convite. No passado, Göttingen deve ter sido pachorrenta. As pequenas cidades universitárias alemãs são anteriores à unificação do país (Göttingen, por exemplo, foi fundada por George II, quando ainda Senhor de Hanover), e, assim, exibem um ar de burocracia local. Mesmo depois de terminado o domínio militar e o Kaiser ter abdicado em 1918, elas continuaram mais conformistas do que as universidades de fora da Alemanha.

A ligação entre Göttingen e o mundo exterior era feita através de uma estrada de ferro. Por essa via chegavam os visitantes de Berlim, e de outras cidades, ansiosos por trocar idéias sobre as questões momentosas da física que estivessem agitando o mundo lá fora. Em Göttingen, costumava-se dizer que a ciência ganhava vida no trem para Berlim, uma vez que aqui era onde as pessoas argumentavam, eram questionadas, e tinham novas idéias. E onde novas idéias eram contestadas também.

Nos anos da Primeira Guerra Mundial a ciência em Göttingen, como em toda parte, era dominada pela Relatividade. Mas, no pós-guerra, em 1921, a Cátedra de Física foi ocupada por Max Born o qual, com seus seminários, passou a atrair a atenção da comunidade dos físicos atômicos. É interessante notar que Max Born foi guindado à cátedra quando contava já perto de quarenta anos, fato incomum, pois que, de maneira geral, os físicos realizam seus melhores trabalhos antes dos trinta anos (matemáticos ainda mais cedo e biólogos talvez um pouco mais tarde). Entretanto, Born era dotado de um extraordinário dom sócrático, muito pessoal. Atraía os jovens, estimulava-os, e as idéias discutidas e contestadas entre eles constituíam o melhor do seu trabalho. Dentre uma multidão de nomes, qual deles deveria en-

181
Eles estão aqui não para reverenciar o que já é conhecido, mas, sim, para questioná-lo.
A fonte de bronze da menina com o ganso, Praça do Mercado de Göttingen.



escolher? Werner Heisenberg, obviamente, que realizou aqui, com Born, o seu melhor trabalho. Quando Erwin Schrödinger publicou uma forma diferente de física atômica básica, foi também aqui onde ocorreu o principal debate, atraindo gente de todo o mundo.

Pode parecer inadequado falar nesses termos sobre uma atividade que mais parece brotar como resultado de vigílias noturnas à luz mortíça de lâmpadas. Assim, teria mesmo a física da década dos 20 consistido em argumentos, seminários, discussões e debates? Sim, consistiu. E ainda consiste. As pessoas que aqui se reuniam, as pessoas que ainda se reúnem em seus laboratórios, só dão seus trabalhos por terminados quando conseguem expressá-los em formulações matemáticas. Começam tentando resolver enigmas conceituais. Os enigmas das partículas subatômicas — dos elétrons e do resto — representam enigmas mentais.

Pensem no quebra-cabeça que o elétron representava naquele tempo. Os professores até diziam brincando (devido à maneira pela qual os horários das universidades são organizados) que às segundas, quartas e sextas os elétrons se comportavam como se fossem partículas e às terças, quintas e sábados, como se fossem ondas eletromagnéticas. Como se poderiam conciliar esses dois aspectos, tomados à escala muito mais ampla do mundo exterior, e socados nesse mundo liliputiano do interior do átomo? Os argumentos e especulações de então giravam nesse tipo de roda. A fim de resolvê-los eram necessários não apenas cálculos, mas, sim, inspiração, imaginação — metafísica, se vocês quiserem. Lembro-me de uma frase de Max Born, usada por ele quando, muitos anos mais tarde, veio para a Inglaterra, e que está registrada em sua autobiografia: "Estou convencido de que física teórica é, na realidade, filosofia".

Max Born entendia que as novas idéias da física eram endereçadas a uma visão diferente da realidade. O mundo não é imutável, não consiste em um arranjo fixo de objetos externos, e não pode ser inteiramente separado da percepção que temos dele. Ele se transforma sob nosso olhar, ele interage conosco, e o conhecimento daí derivado tem de ser por nós interpretado. Não há meio possível de trocar informações sem a concorrência de julgamentos. Seria o elétron uma partícula? Comporta-se como tal no modelo de Bohr, mas em 1924 de Broglie (figura 167) construiu um lindo modelo de ondas, no qual as órbitas estão representadas por posições onde todo um número exato de ondas se concentram

em torno do núcleo. Max Born imaginou um trem de elétrons no qual cada um deles estava preso a uma manivela, de forma que, em conjunto, constituíam uma série de curvas gaussianas, uma onda de probabilidades. Uma nova concepção estava sendo gerada no trem para Berlim e nas caminhadas professorais pelos bosques de Göttingen: quaisquer que fossem as unidades fundamentais a partir das quais o mundo se construía, elas eram mais delicadas, mais fugidias, mais lépidas do que aquilo que conseguimos apanhar na rede de caçar borboletas de nossos sentidos.

Todas essas caminhadas pelos bosques e conversações atingiram um clímax em 1927. No início desse ano Werner Heisenberg deu uma nova caracterização ao elétron. Sim, trata-se de uma partícula, disse ele, mas uma partícula capaz de transmitir apenas uma quantidade limitada de informação. Isto é, pode-se especificar onde ela se encontra neste instante, mas, ao se deslocar, não se consegue impor a ela velocidade e direção específicas. Ou, posto de outra forma, se insistimos em dispará-la a velocidade e direção determinadas, torna-se impossível especificar exatamente seu ponto de partida, e, conseqüentemente, seu ponto de chegada.

Essa caracterização pode parecer muito grosseira. Mas não é. Heisenberg tornou-a profunda ao fazê-la precisa. A informação da qual o elétron é portador é limitada em sua totalidade. Isto quer dizer que, por exemplo, sua velocidade e sua posição se *ajustam* de tal forma a estarem confinadas pela tolerância do *quantum*. Aí está a idéia profunda: uma das grandes idéias científicas, não só do século XX, mas, da história da ciência.

A essa formulação Heisenberg deu o nome de Princípio da Incerteza. Em um certo sentido, representa um sólido princípio do dia a dia. Sabemos não poderemos pedir ao mundo para que seja exato. Se um objeto (uma face conhecida, por exemplo) tivesse de ser sempre *exatamente* o mesmo para que o pudéssemos reconhecer, não seria possível identificar uma mesma pessoa de um dia para o outro. Reconhecemos o mesmo objeto em diferentes ocasiões porque ele permanece o mesmo e não porque permanece exatamente o mesmo; as coisas permanecem toleravelmente semelhantes a si mesmas. No ato do reconhecimento entra um julgamento — uma área de tolerância ou de incerteza. Dessa maneira, o princípio de Heisenberg postula que nenhum evento, nem mesmo os eventos atômicos, pode ser descrito com certeza, isto é, com tolerância zero. A profundidade do