

Claude Cohen-Tannoudji nasceu em Constantine, na Argélia Francesa. Em 1953 foi para Paris onde, em 1962, fez o doutoramento na École Normale Supérieure sob a orientação dos Professores Kastler e Brossel. Entre 1964 e 1972 foi professor na Universidade de Paris e é, desde 1973, professor no Collège de France. Fez toda a sua carreira de investigação no Laboratório Kastler-Brossel onde dirige o grupo de átomos frios.

Entre muitas distinções, recebeu o prémio Ampère da Académie des Sciences, a Thomas Young Medal and Prize do Institute of Physics, o Lilienfeld Prize da American Physical Society, o Charles Townes Award da Optical Society of America e o Quantum Electronics Prize da European Physical Society. É membro da Académie des Sciences e “Foreign Associate” da United States National Academy of Sciences e da American Academy of Arts and Sciences. É autor de vários livros entre os quais se destaca *Mécanique Quantique*, escrito em co-autoria com Bernard Diu e Franck Laloë.

Em 1997, partilhou o prémio Nobel da Física com William D. Phillips e Steven Chu, pela manipulação e arrefecimento dos átomos, com a luz produzida por lasers.

Cohen-Tannoudji esteve em Lisboa, em Setembro de 2006, a convite do Centro de Física Teórica e Computacional da Universidade de Lisboa, onde proferiu uma palestra intitulada “Ultracold Atoms and molecules: Achievements and Perspectives”. Foi nessa ocasião que falei com ele.

Entrevista de

PATRÍCIA F. N. FAÍSCA

Centro de Física Teórica e Computacional
da Universidade de Lisboa

Av. Prof. Gama Pinto, 2

1649-003 Lisboa

patnev@cii.fc.ul.pt

Entrevista a Claude Cohen-Tannoudji

“A CIÊNCIA É UMA AVENTURA EXCITANTE!”

Em 1953, quando entrou para a École Normale Supérieure, qual era a sua ideia: fazer a “agrégation” em física ou em matemática?

Inicialmente foi pela matemática que me senti atraído e por isso estava a pensar em estudar matemática. Mas nessa altura conheci professores de física excepcionais - o Alfred Kastler, por exemplo -, que me fizeram mudar de ideias e estudar física.

Mas então foi a física propriamente dita que o atraiu, ou foram os seus professores de física?

Foi principalmente a personalidade dos professores. O Alfred Kastler era uma figura excepcional. Era uma espécie de poeta da física. Ensinava física atómica com imensa imaginação e fantasia e, na realidade, foi a personalidade dele que me atraiu para a física.

Em 1955 entrou para o grupo de Alfred Kastler onde realizou investigação, grande parte da qual baseada em trabalho experimental, para obter o “diploma”. O seu contacto inicial com a experimentação influenciou muito a sua carreira como físico?



Sim, sem dúvida. A maioria dos alunos do grupo do Alfred Kastler e do Jean Brossel faziam teoria e experiência. No meu caso particular, o trabalho foi só experimental. Quando se fazem experiências, desenvolve-se uma visão concreta daquilo que se está a estudar e adquire-se uma ideia das ordens de grandeza relevantes. Depois, quando se usam modelos para explicar as observações, o ponto de partida é um conhecimento muito concreto dos fenómenos. Acho importante para qualquer físico um treino experimental, ou um contacto próximo com os aspectos experimentais, que lhe dê a noção do que é uma experiência, das limitações do trabalho experimental, das ordens de grandeza no fenómeno em estudo e dos parâmetros físicos importantes. É uma parte crucial do treino de qualquer físico.

Foi nessa altura que começou a ser cientista?

Sim, certamente. Quando somos alunos temos uma espécie de visão idealista do que é a ciência. Lemos livros e tentamos aprender teoremas e coisas do género. Mas, quando estamos no laboratório, somos confrontados com dificuldades, tentamos interpretar o que observamos, temos que discutir com os colegas e procurar falhas nas experiências. Penso que trabalhar no laboratório é essencial

para desenvolver uma abordagem científica que consiste em observar, tentar perceber, criar um modelo e verificá-lo.

Actualmente ainda faz experiências no seu trabalho de investigação?

Não, agora já não, mas no início da minha carreira eu próprio fiz experiências, ou colaborei nelas. Isso aconteceu, não só para o “diploma” e durante o doutoramento, mas também quando comecei a orientar alunos. Hoje em dia viajo tanto que não tenho tempo para estar pessoalmente envolvido nas experiências. Apenas acompanho o que se passa.

Como é que avalia o trabalho computacional na sua área de investigação e em geral na física?

Eu sou de uma geração que não está muito familiarizada com os computadores. E devo dizer que no meu trabalho científico nunca tive que usar um computador para desenvolver um modelo, testá-lo ou fazer sequer um cálculo. Apenas uso computadores para escrever manuscritos e para preparar apresentações. Não recorro ao computador para fazer simulações e coisas desse género. Os meus colaboradores mais jovens, esses sim, estão muito mais

à vontade com o trabalho computacional. É claro que, por um lado, acho o trabalho computacional importante, mas por outro lado, penso que pode ser perigoso cair na tentação de recorrer imediatamente ao computador para encontrar a solução de um problema. Penso que é melhor fazer modelos muito simplificados, para os quais seja possível obter resultados analíticos, e só depois de entendermos o fundamental é que devemos usar o computador para descobrir os parâmetros mais importantes. Penso que o trabalho computacional é muito importante, mas pode ser perigoso se nos restringirmos a ele. Uma boa combinação consiste em tentar encontrar modelos qualitativos, que nos dão uma ideia do que se passa, e só depois usar o computador para encontrar, com o auxílio de modelos mais quantitativos, os parâmetros relevantes. Existe o perigo de o trabalho computacional nos impedir de ver o modelo mais simples por não ser necessário simplificar a situação. Fazemos os nossos cálculos e quando obtemos um resultado não temos uma ideia qualitativa sobre o que acontece na realidade, sobre o que é essencial, não sabemos o significado real do nosso resultado.

Considera que a atribuição do prémio Nobel, pelo desenvolvimento de métodos para arrefecer e confinar átomos com luz laser, foi o pico da sua carreira?

Penso que se dá demasiada importância ao prémio Nobel. Existem muitos cientistas que o podiam ter ganhado. Não devemos estar obcecados com ele. Conheço pessoas que vivem obcecadas com a ideia de ganhar o Nobel e acho isso mau e perigoso. Claro que ganhar o Nobel é uma enorme motivação, não só para a pessoa que o recebe e para os seus colegas, como também para todas as outras pessoas que trabalham nesse campo; mas não é tudo. Penso que, geralmente, embora nem sempre, o prémio surge numa altura que não coincide com o pico da nossa produtividade científica: reporta-se a um trabalho feito há já algum tempo - eu, por exemplo, tinha 64 anos

quando o recebi. A coisa mais emocionante quando se faz investigação é ter ideias novas e treinar e ensinar alunos. A produtividade máxima não é aos 64 anos, é aos 35-40 anos. O prémio Nobel pode coincidir com o pico da nossa produtividade, mas na maioria dos casos isso não acontece. Algumas pessoas recebem o prémio Nobel muito jovens e isso pode "matá-los": existe demasiada pressão por parte dos média e, quando se é muito jovem, pode perder-se a noção da realidade.

Podem explicar-nos os mecanismos físicos envolvidos no arrefecimento de átomos neutros? Qual é a diferença entre o mecanismo de arrefecimento Doppler, proposto em 1975 por Hansch e Schawlow, e os mecanismos de arrefecimento Sisyphus e sub-recuo propostos pelo seu grupo nos anos 1980?

A questão fundamental é como usar a luz para mudar as propriedades dos átomos. Quando um fóton é absorvido por um átomo, este sofre um "recuo" que altera a sua velocidade. Num feixe laser, este efeito pode ser repetido muitas vezes de modo a obter grandes variações de velocidade, como se o átomo fosse "travado" por uma força de enorme intensidade. O efeito Doppler faz com que a frequência da luz "vista" por um átomo se aproxime ou se afaste da frequência de ressonância, conforme a velocidade a que o átomo se desloca. Assim, dependendo da sua velocidade, os átomos absorvem mais ou menos fótons e a força que actua sobre eles é maior ou menor. Esta diferença é crucial para arrefecer, ou seja, travar, os átomos de grande velocidade (Fig. 1).

O mecanismo de arrefecimento por efeito Sisyphus, que permite atingir temperaturas muito mais baixas, é completamente diferente. Combina o que eu chamaria um efeito dissipativo, absorção e emissão de luz, com um efeito reactivo, uma separação, devida à luz, dos subníveis do estado fundamental. Modulando espacialmente a polarização da luz, podem criar-se situações em que um átomo sobe a

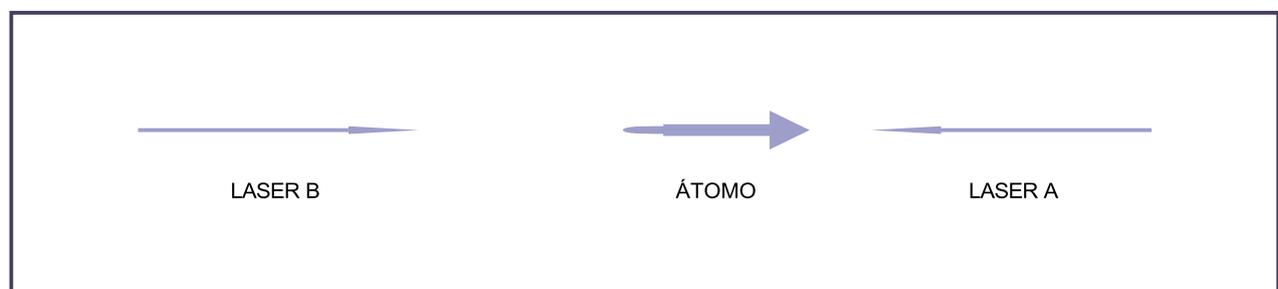


Fig. 1 - Consideremos um átomo que se desloca sujeito a duas ondas laser de frequência ligeiramente inferior à frequência de ressonância e que se propagam em sentidos opostos. Devido ao efeito Doppler, se o átomo se deslocar, por exemplo, da esquerda para a direita, a frequência do feixe **A** aproxima-se da frequência de ressonância, e a de **B** afasta-se ainda mais. Se a velocidade do átomo tiver o sentido contrário, é a frequência de **B** a que se aproxima da ressonância, e a de **A** a que se afasta. O resultado global dos múltiplos recuos é sempre o equivalente a uma força que se opõe à velocidade do átomo.

encosta de um potencial e é colocado de novo no fundo quando chega ao topo, e assim sucessivamente. O limite inferior por arrefecimento Sisyphus é mais baixo do que o limite inferior por arrefecimento Doppler, o que o torna mais eficiente. Mas é claro que ambos os efeitos são importantes, porque se começa com arrefecimento Doppler, continua-se com arrefecimento Sisyphus, e pode-se ir ainda mais longe por sub-recuo, um mecanismo que não está limitado pela velocidade de recuo do átomo. O arrefecimento por evaporação é uma outra forma de arrefecimento que permite atingir temperaturas extremamente baixas.

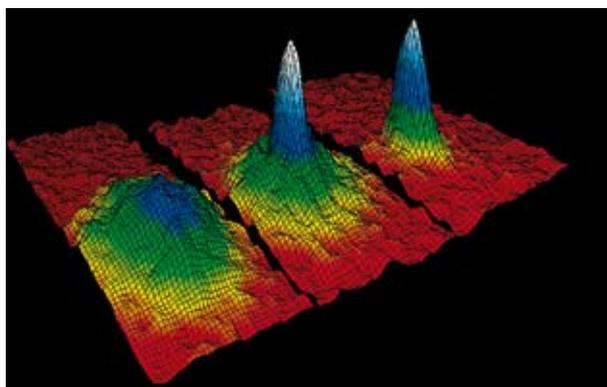


Fig. 2 - Condensado de Bose-Einstein.

O que é atraente neste campo é a existência de muitos mecanismos possíveis, que podem ser bastante diferentes, e têm limites de arrefecimento diferentes. Ao combiná-los podemos atingir temperaturas cada vez mais baixas.

Qual foi a sua reacção ao feito de Eric Cornell e seus colaboradores quando, em 1995, conseguiram criar o primeiro condensado de Bose-Einstein de um gás diluído?

Fiquei muito impressionado, porque foi como conseguir o Santo Graal da física atômica. Além disso, o trabalho era de uma qualidade excelente. Este é um campo no qual os cientistas têm tido surpresas sobre surpresas, e todas elas boas. Nós tínhamos muitos sonhos que se tornaram realidade. A condensação de Bose-Einstein (BEC) era um sonho e conseguimos observá-la. O mesmo se passa com os computadores quânticos. As pessoas têm vindo a sonhar com eles e esperamos que um dia se tornem reais.

A teoria BEC de Einstein foi durante muito tempo considerada irrealista porque lidava com gases perfeitos. À baixa temperatura à qual a BEC estava prevista a maioria dos átomos estão no estado sólido ou líquido e, portanto, muito longe de um gás perfeito. Hoje em dia sabemos arrefecer gases muito diluídos até temperaturas muito baixas. A essas temperaturas, o comprimento de onda de de Broglie dos átomos é maior do que a distância média entre eles (uma

condição necessária para a BEC). Como essa distância média é maior do que o alcance das interações entre pares de átomos (uma situação que se verifica para um gás diluído), as colisões de três corpos, que são necessárias primeiro para a formação de moléculas e depois para a formação de líquidos e sólidos, tornam-se muito raras e o sistema pode permanecer no estado gasoso por um período de tempo suficientemente longo para haver BEC.

O arrefecimento criogénico permite-nos atingir temperaturas da ordem do kelvin e milikelvin. Mas a escala dos micro e dos nano-kelvin parecia inatingível. Os novos métodos por arrefecimento laser e por evaporação abriram-nos a possibilidade de atingir esta gama de temperaturas, e nesta gama a BEC, tal como previra Einstein, deixa de ser um sonho... Às vezes, quando se atingem novas ordens de grandeza em física, cenários que pareciam pura especulação tornam-se reais.

Quais são na sua opinião as aplicações mais interessantes do arrefecimento por laser?

Para além da BEC, há experiências de alta resolução nas quais se consegue aumentar por várias ordens de grandeza a precisão das medidas. Espectroscopia de alta resolução, relógios atômicos e interferometria, e ainda outras situações relacionadas com a natureza ondulatória dos átomos e nas quais estes se comportam como ondas numa larga gama de parâmetros. O BEC permitiu estudar um novo estado da matéria, e o arrefecimento por laser é importante no campo da informação quântica, onde surgiram várias ideias baseadas na utilização de átomos arrefecidos por laser. A transição de Mott superfluido-isolador é também muito promissora neste aspecto.

Quais são os seus actuais interesses de investigação?

No meu grupo estamos a trabalhar em BEC, mas eu apenas sigo o que vamos fazendo sem estar envolvido numa experiência específica. O meu interesse principal é a mecânica quântica macroscópica.

Na sua autobiografia Nobel diz, a certa altura, que o seu pai lhe ensinou o que considera serem as características mais importantes da tradição judaica: estudar, aprender e partilhar o conhecimento com os outros. Como avalia a importância que a sua actividade pedagógica tem tido?

Tem sido essencial. Penso que precisamos de uma compreensão total daquilo que ensinamos. De facto, a melhor maneira para aprender uma coisa é ter de a ensinar. Eu tive imensa sorte em estar no Collège de France, porque aí temos que ensinar assuntos diferentes todos os anos. Claro que é muito difícil, mas ao mesmo tempo obriga-nos a ler imenso. Hoje em dia publica-se tanto que apenas lemos

o sumário de muitos trabalhos e damos-lhe uma vista de olhos rápida. Ensinar um certo assunto abordado num artigo obriga-nos a lê-lo em pormenor, e a perceber as ideias novas aí desenvolvidas. Ensinar algum assunto obriga-nos também a adoptar uma perspectiva abrangente, que é importante para desenvolvermos as nossas próprias ideias. De facto, decidi começar a fazer experiências de arrefecimento e “trapping” por causa daquilo que ensinei no Collège. Dei durante quatro anos aulas sobre arrefecimento de iões e átomos. Ao estudar os pormenores dos mecanismos, consegui desenvolver novas ideias e decidi trabalhar nesta área. Por isso, ensinar é essencial, e não imagino a investigação sem ensino, assim como não imagino o ensino sem a investigação. Se ensinarmos sem fazer investigação tornamo-nos obsoletos muito rapidamente.

Disse que Kastler era um poeta da física, que tinha imensas ideias elegantes, enquanto Brossel era um experimentalista notável que tinha um conhecimento profundo dos processos físicos. Concorde com Peter Medawar quando ele diz que a maior parte dos cientistas podiam com facilidade ter sido outra coisa qualquer?

Sim, certamente. Eu penso que a ciência é uma forma de cultura e que se pode fazer ciência com estilos muito diferentes. Podemos, tal como um poeta, enfatizar a elegância e a beleza de uma ideia ou de uma experiência. É uma questão que tem a ver com a nossa personalidade. O Alfred Kastler e o Jean Brossel tinham personalidades diferentes mas complementares. Tinham imensas ideias elegantes e bonitas. Mas também é muito importante, especialmente em mecânica quântica, onde as imagens podem ser enganadoras, que essas imagens sejam consistentes com a teoria, e isso não é nada fácil. O problema

da criatividade é imaginar situações novas, e ao mesmo tempo manter o rigor por forma a não nos perdermos em ideias sem sentido. É um equilíbrio delicado.

O livro de mecânica quântica que escreveu com Bernard Diu e Franck Laloë tem tido um enorme sucesso ao longo de trinta anos - eu diria mesmo, um sucesso sem igual entre os livros publicados em francês. Houve da parte dos autores a previsão deste sucesso? De que forma procuraram escrever um manual de mecânica quântica que fosse diferente dos outros?

Não, francamente não previmos este sucesso. De facto, a primeira crítica que tivemos do editor foi negativa, já que considerou o livro como demasiado detalhado. Nessa altura nós ensinávamos mecânica quântica, mas decidimos que não iríamos dividir o livro em três partes e escrever cada uma delas separadamente. Escrevemos cada capítulo após muitas discussões e muitas correcções. Levou-nos muito tempo, mas essa interacção foi muito importante para clarificar conceitos. Como estávamos a ensinar mecânica quântica, sabíamos quais eram as dificuldades dos alunos, e tentámos responder em antecipação às suas dúvidas. A estrutura que adoptámos, em capítulos e complementos, deu-nos a possibilidade de separar o núcleo duro dos assuntos complementares, com vários níveis de dificuldade que se podem estudar, caso se queira, ou deixar de lado numa primeira leitura. Isto deu ao livro uma certa flexibilidade, e é provavelmente por isso que ele é apreciado por públicos muito diferentes que nele conseguem encontrar o que procuram. Pode ser ajustado às necessidades de cada um. É um livro “self-service”! Foi uma boa ideia tê-lo feito assim, mas no início não nos apercebemos disso.

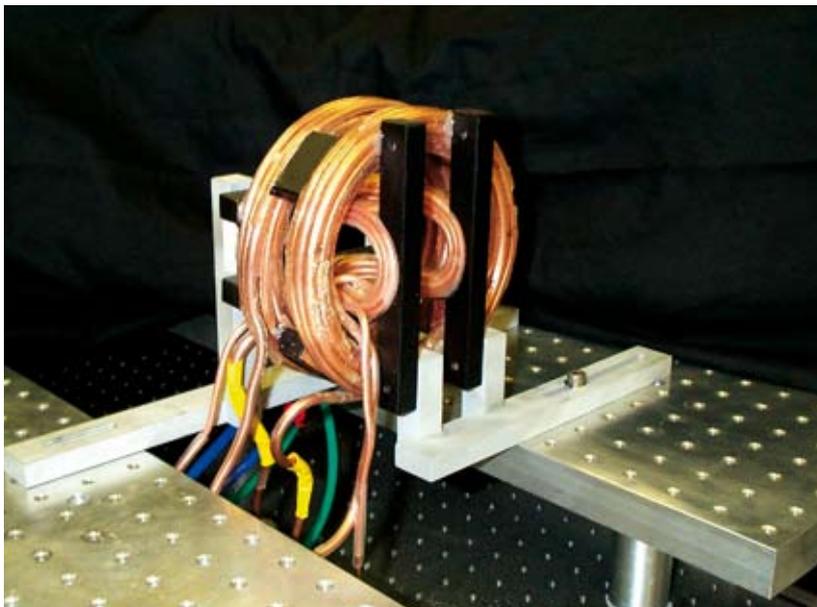


Fig. 3 - Ratoeira magnética.

O vosso livro teve um papel importante ao integrar vários tópicos da mecânica quântica nos programas da formação pré-graduada. Também foi importante na preparação de várias gerações de físicos e químicos. Acha adequados os currículos de física adoptados actualmente, ou existem tópicos que deviam ser introduzidos?

Tenho dificuldade em responder a essa pergunta porque deixei a universidade em 1973. Tenho estado no Collège onde ensinamos aquilo que queremos e por isso não tenho seguido a evolução do ensino da física nas últimas décadas. Penso que é importante manter uma visão moderna da física, bem como uma abordagem baseada nas experiências. Ao mesmo tempo, não devemos sobrecarregar os alunos com muitas matérias. É claro que, ao nível do ensino secundário, devemos tornar a física mais atraente mostrando a sua importância na vida do dia-a-dia: nos computadores, nos telemóveis, rádios, CD, DVD, etc. É importante ter a noção de que em qualquer objecto tecnológico existem efeitos quânticos. Também gostaria de enfatizar a importância de experiências pedagógicas do tipo “mãos na massa” que estão a ser testadas em vários países. Na escola primária, os miúdos mais novos, que são muito curiosos, devem explorar certas situações - com jogos ou pela observação de fenómenos simples e usando equipamento barato - que os levem a desenvolver uma abordagem científica e a fazer perguntas: “Por que é que isto funciona assim?”, “Como poderei ver que esta ideia é boa?” Penso que apresentar a ciência tal como ela é, como um jogo ou como uma história policial, e não como algo dogmático, é muito importante. Também acho que é importante ensinar história da ciência, mostrar como as coisas têm sido descobertas ou inventadas, e como o conhecimento tem progredido. É importante ter esta perspectiva histórica quando se tenta melhorar a educação.

O que acha de levar a ciência ao grande público?

Tal como a arte, a música e a poesia, a ciência e a aventura científica fazem parte da cultura. É crucial criar nas pessoas uma atitude crítica por forma a evitar que aceitem ideias falsas e sigam caminhos errados. As pessoas devem ser treinadas para examinar cada situação de uma forma crítica e não caírem em disparates como a astrologia e o misticismo. A ciência também nos ensina como é importante discutir com os outros. Para testarmos a nossa hipótese temos que admitir o erro, e o desenvolvimento da nossa capacidade de diálogo é uma protecção contra a intolerância e o fundamentalismo. Por isso, é preciso levar a ciência ao público para proteger a sociedade do racismo e de outros desvios. Claro que existem cientistas loucos e racistas, mas de uma maneira geral os bons cientistas são contra o fanatismo e o fundamentalismo e compreendem claramente os valores da tolerância e do diálogo.

É membro do comité executivo do *International Human Rights Network of Academies and Scholarly Societies*. Os cientistas, em especial os laureados com o Prémio Nobel, têm uma responsabilidade especial em assuntos de ordem ética?

Há que ter cautela. É evidente que devemos protestar contra qualquer violação dos direitos humanos e ter sempre em mente considerações de ordem ética. No entanto, o facto de termos ganho o Nobel não significa que possamos ter ideias sobre qualquer problema. Como laureado Nobel tento tomar posições apenas em assuntos que sejam do meu domínio, ou seja, ciência e educação. É claro que como cidadão posso ter as minhas próprias opiniões sobre questões que dizem respeito à sociedade ou assuntos filosóficos, mas não quero expressá-las na condição de vencedor do Nobel. Isso não seria justo. É por isso que neste comité nós apoiamos cientistas, na maioria dos casos perseguidos e encarcerados, e algumas vezes condenados à morte, por regimes extremistas. Assinamos cartas que podem ajudá-los porque o governo que os condenou sabe, a partir desse momento, que o caso se torna do domínio público. Em alguns casos temos tido sucesso em ajudar a libertar estas pessoas, mas nem sempre é assim.

Que mensagem devia ser transmitida aos mais novos por forma a aumentar o interesse das novas gerações pela física?

Penso que seria bom mostrar que a ciência não é aborrecida; é uma aventura excitante. Conseguir isto depende essencialmente da habilidade dos professores para atrair intelectualmente os alunos para a ciência. Infelizmente os média e a televisão são demasiado passivos. Os miúdos passam muito tempo em frente da TV e aceitam o que vêm de uma forma passiva. Quando eu era criança discutia com os meus pais e amigos o que acontecia no mundo. Tínhamos mais tempo para ler e para discutir com as outras pessoas. Hoje em dia existem muitas coisas que nos podem distrair. Seria importante desenvolver desde muito cedo a capacidade de reflexão.

Se pudesse regressar aos anos 50 optaria por voltar a estudar física?

A pergunta é abstracta e não sei a resposta. É óbvio que existem hoje grandes desafios na biologia; saber como funciona o cérebro, o que é a memória, a emoção e a consciência são questões fascinantes. Existem vários problemas “grandes”... Mas na física também há coisas excitantes! Mais uma vez acho que é uma questão de personalidades: temos que ter professores e colegas que sejam capazes de nos transmitir entusiasmo. O importante é que nos dediquemos com entusiasmo a um assunto em vez de aprendermos de uma forma passiva. Para progredir em ciência é necessário combinar conhecimentos de muitos campos diferentes. Seria um erro se toda a gente escolhesse a biologia porque precisamos também de muitas outras contribuições.