

O PROBLEMA DA MEDIÇÃO

1. O Problema Geral da Medição

No Cap. VI examinamos a redução de estado descrita pelo postulado da projeção, e sua interpretação enquanto “colapso” feita por uma corrente da interpretação ondulatória. Porém, vários defensores de uma interpretação ondulatória não aceitam a ideia de que ocorram colapsos instantâneos, aleatórios e não-locais em consequência de uma medição. O exemplo mais famoso destes foi o próprio Schrödinger. A saída para estes autores é tentar descrever o colapso como um processo físico contínuo que envolveria objeto e aparelho. Os problemas desta abordagem recebem o nome genérico de *problema da medição*.

A sugestão de Heisenberg (seção VI.5) de que um colapso ou redução de estado ocorreria com uma observação ou medição foi amplamente aceita, mas o que constituiria exatamente essa medição? A questão de *como* ocorre o colapso associado a uma medição pode ser chamada de o “problema geral da medição”.

Ele pode ser reenunciado como a questão de como, durante uma medição, uma “superposição quântica” pode ser transformada em estados que se comportam “classicamente”, ou seja, não se superpõem. A resposta que John von Neumann daria em 1932 é de que esta perda de coerência é descrita pelo postulado da projeção, que acompanha qualquer ato de observação.

Dois problemas se desdobram desta solução ao problema geral da medição. O primeiro pode ser chamado de *problema da “caracterização”*. Sob que condições deve ser aplicado o postulado da projeção, e se ele sempre acompanha uma medição, o que então caracterizaria uma observação ou medição? É a presença de um observador consciente? É a obtenção de um registro macroscópico? É a amplificação? A interação do objeto com uma placa metálica? O acoplamento com o ambiente? Qual etapa do processo de medição é responsável pelo colapso? Pode ocorrer colapso sem medição? (Fig. IX.1.)

O segundo problema surgiu a partir de von Neumann, e foi chamado de *problema da “completeza”*⁶⁶. Poderia o postulado da projeção ser explicado pelos outros princípios da Mecânica Quântica e algum modelo físico apropriado para o processo de medição? Esses “outros princípios” se resumiriam essencialmente à equação de Schrödinger, que descreve uma evolução determinista de estados (seção VI.1), que se aplicaria para o sistema composto consistindo do objeto quântico e do aparelho de medição (e qualquer outro componente que fosse necessário, como o próprio ambiente). Von Neumann forneceu uma *prova de insolubilidade* para o problema da completeza, ou seja, mostrou que tal explicação não seria capaz de satisfazer uma certa exigência de consistência para medições quânticas. Tal prova seria retomada na década de 1960 (Wigner, Fine etc.) sem considerar tal exigência.⁶⁷

⁶⁶ Este termo foi introduzido por A. Fine. A “completeza” neste caso é diferente do caso do argumento de EPR (que veremos mais para frente). Einstein, Podolsky & Rosen argumentaram que a Mecânica Quântica seria incompleta como um todo, o que incluiria os seis postulados que resumimos mais para frente, inclusive o postulado da projeção. No contexto deste parágrafo, a completeza se refere aos cinco primeiros postulados da Mecânica Quântica, excluindo-se o postulado da projeção.

⁶⁷ Ver JAMMER (1974), op.cit. (nota 8), pp. 476-7. Duas provas de insolubilidade importantes foram dadas por: WIGNER, E.P (1963), “The problem of measurement”, *American Journal of Physics* 31, 6-15, reproduzido em WHEELER & ZUREK (1983), op. cit. (nota 15), pp. 324-41. FINE, A.I. (1970), “Insolubility of the quantum measurement problem”, *Physical Review D* 2, 2783-7. Ver *Conceitos de física quântica*, vol. 2, seção XXXI.3.

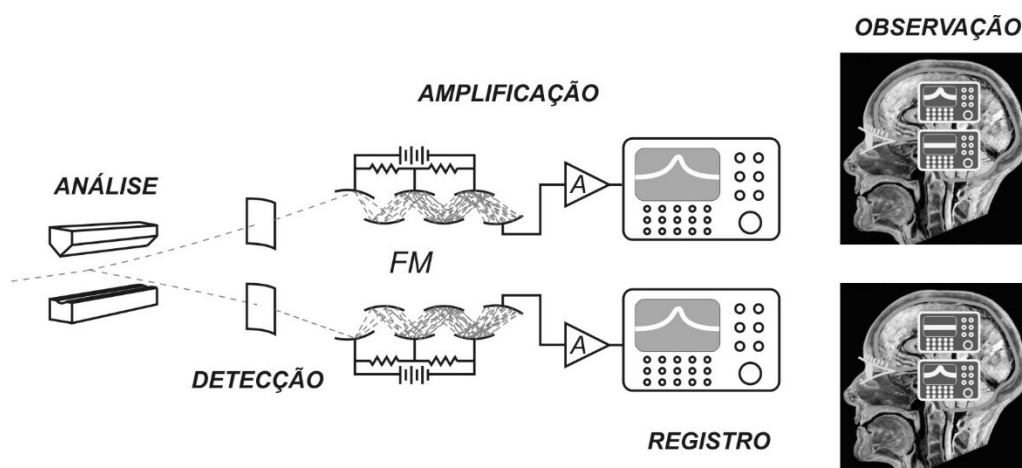


Figura IX.1. Problema da Caracterização: em que estágio da medição ocorre o colapso? Na detecção? Na amplificação (envolvendo uma fotomultiplicadora FM e um pré-amplificador A)? No registro no osciloscópio? Na observação consciente Ou o próprio observador entra em superposição?

2. A Interpretação Subjetivista

Uma das primeiras explicações para o colapso, conhecida como abordagem *subjetivista* ou *mentalista*, afirma que o colapso seria causado apenas quando o sistema quântico interagisse com a consciência do observador. Apesar de esta tese parecer exagerada, até hoje ninguém conseguiu refutá-la com algum experimento mental; assim, ela é defensável, apesar de não parecer muito plausível.

Esta interpretação é atribuída a von Neumann, apesar de ele não defendê-la explicitamente em publicações. Alguns anos depois, o físico alemão Fritz London e o francês Edmond Bauer popularizaram essa opinião de que o colapso só poderia ser explicado invocando-se a presença de um ser consciente. Eles consideraram a cadeia que consiste no objeto quântico, no aparelho de medição e no observador consciente. Considerando a evolução unitária (equação de Schrödinger), defenderam que a superposição microscópica se estende para o aparelho de medição; quando porém uma consciência interage com este sistema, ela provoca o colapso de todo o sistema composto: “a transformação irreversível no estado do objeto medido” é devido à “faculdade de introspecção” ou ao “conhecimento imanente” que o observador consciente tem de seu próprio estado.⁶⁸

Uma posição semelhante foi defendida por Eugene Wigner (1962) e também por outros físicos bem conhecidos, como James Jeans, Arthur Eddington e Walter Heitler, e ressurgiu na década de 1990 com a ascensão do misticismo quântico (por exemplo, com Henry Stapp).

⁶⁸ LONDON, F. & BAUER, E. (1939), *La théorie de l'observation em mécanique quantique*, Hermann, Paris (tradução para o inglês em WHEELER & ZUREK, op. cit., nota 15, pp. 217-59). Sobre a posição de von Neumann, Ver JAMMER (1974), op. cit. (nota 8), pp. 479-82. Outros artigos nesta linha: WIGNER, E.P. (1962), “Remarks on the mind-body question”, in Good, I.J. (org.), *The scientist speculates*, Heinemann, London, pp. 284-302 (republicado em WHEELER & ZUREK, 1983, op. cit., nota 15, pp. 168-81). HEITLER, W. (1949), “The departure from classical thought in modern physics”, in Schilpp, P.A. (org.), *Albert Einstein, philosopher-scientist*, Open Court, Urbana (IL), pp. 181-98.

3. Abordagens Objetivistas ao Problema da Medição

Após a 2ª Guerra Mundial, ocorreu um esforço para substituir a interpretação subjetivista por uma visão que eliminasse o observador humano da descrição quântica da natureza, substituindo o papel fundamental do sujeito humano por um papel semelhante desempenhado pelo *aparelho de medição*. No entanto, restava o problema das caracterização, ou seja, qual estágio do processo de medição seria responsável pelo colapso do estado quântico? Sabemos que o colapso não ocorre no estágio da *análise* (separação) de um feixe, pois é sempre possível recombinar o feixe e observar interferência (seção VII.4). A resposta que se consolidou na década de 1950 foi estipular que o estágio crucial para o colapso ou redução de estado seria a *amplificação*. A medição envolve um processo termodinâmico de amplificação, que se passa em um sistema macroscópico (o aparelho de medição), resultando em um *registro* macroscópico (a posição de um ponteiro ou o registro na fita de um computador), e que é *irreversível*, ou seja, uma vez que um registro fosse obtido o sistema “composto” (objeto quântico + aparelho) não poderia retornar ao estado inicial (anterior ao registro).

A publicação que lançou o novo programa de pesquisa objetivista foi escrita por Jordan (1949), que enfatizava que uma medição é um processo macrofísico real que faz com que duas ondas percam a “coerência”. A “decisão” (redução ou colapso) tomada por um fóton se completaria quando um registro macrofísico aparecesse a partir de um “processo de avalanche”. Segundo esta explicação qualitativa, o observador consciente não seria necessário para que a redução ocorresse. A ênfase dada por Jordan para o “processo de avalanche” como uma condição suficiente para a redução foi dada de modo independente por Günther Ludwig (1953), para quem o processo de medição envolve um acoplamento entre o objeto microscópico e um aparelho macroscópico em estado “metaestável” (como uma câmara de nuvem de Wilson), resultando em um processo termodinâmico irreversível cujo estado final fixa o resultado da medição. Este paradigma de amplificação termodinâmica foi compartilhado por muitos físicos preocupados com o processo de medição durante os anos 1950. O próprio Bohr (1955) passou a caracterizar de maneira mais precisa a observação de um fenômeno atômico como sendo “baseada em registros obtidos por meio de dispositivos de amplificação apropriados com funcionamento irreversível”.⁶⁹

O auge do programa de amplificação termodinâmica foi a teoria de Daneri, Prosperi & Loinger (1962), baseado em condições de ergodicidade definidas alguns anos antes por van Hove. O aparelho macroscópico se encontra inicialmente em um estado de equilíbrio metaestável. Ao ocorrer uma interação com um objeto microscópico, o aparelho passa para um estado fora-do-equilíbrio, caracterizado por uma mudança em certas constantes de movimento. O processo de retorno ao equilíbrio é descrito matematicamente de maneira a garantir a perda de coerência dos estados macroscópicos *no limite de tempos infinitos*.

Um argumento dado contra a teoria de Daneri et al. envolve o experimento de resultado nulo, proposto por Renninger em 1959. Conforme vimos na seção VIII.4, este experimento mostra que a amplificação não é uma condição necessária para a redução de estado, apesar de ser, na prática, uma condição suficiente. Klaus Tausk (1966) e Jauch, Wigner & Yanase (1967) argumentaram então que a teoria de Daneri et al. não poderia dar conta de tais experimentos, já que a teoria se basearia na ocorrência de um processo irreversível de amplificação. Loinger

⁶⁹ JORDAN, P. (1949), “On the process of measurement in quantum mechanics”, *Philosophy of Science* 16, 269-78. LUDWIG (1953), op. cit. (nota 53). BOHR, N. (1955), “Unity of knowledge”, in Leary, L.G. (org.), *The unity of knowledge*, Doubleday, New York, pp. 47 ff; em português: “A unidade do conhecimento”, in BOHR (1995), op. cit. (nota 15), pp. 85-104; citação da p. 93.

(1968), porém, defendeu a teoria argumentando que ela não requeria que ocorresse uma amplificação, apenas um acoplamento entre o detector e o objeto quântico.⁷⁰

4. Interpretação dos Estados Relativos ou Muitos Mundos

Outra explicação radical é a tese dos “estados relativos” de Hugh Everett (1957),⁷¹ que postulou que o universo como um todo seria descrito por uma única função de onda, que evoluiria deterministicamente de acordo com a equação de Schrödinger. Por exemplo, quando um observador examina o resultado de um experimento de Stern-Gerlach, sua consciência também entraria em uma superposição, com um ramo associado ao resultado “spin para cima”, e o outro a “spin para baixo”. Não ocorreria colapso! Haveria uma ilusão de colapso apenas porque as memórias associadas a “spin para cima” não teriam acesso às memórias associadas a “spin para baixo”, e vice-versa, apesar de coexistirem simultaneamente.

Segundo esta visão, chamada originalmente de interpretação dos “estados relativos”, o universo como um todo é descrito por uma grande função de onda, que evolui linearmente, sem reduções de estado. Em consequência, ela considera que *os próprios seres humanos, durante uma medição quântica, entram em superposição*. Cada “ramo” desta superposição corresponderia a um resultado da medição quântica, e a memória do ser humano, em cada ramo, não teria acesso às memórias dos outros ramos. Assim, em cada ramo, o ser humano teria a ilusão de que apenas *um* resultado de medição se produziu, e diria que tal resultado surgiu após uma “redução” do estado quântico. Mas, na verdade, ele teria entrado numa superposição macroscópica, e nenhuma redução de fato teria ocorrido: esta seria apenas uma aparência.

Admitindo que a interpretação dos muitos mundos dê conta das frequências relativas observadas em medições quânticas e que ela seja empiricamente adequada, a crítica filosófica mais usual que se faz é que ela complicaria desnecessariamente a ontologia da teoria quântica, postulando infinitudes de universos paralelos, o que violaria o preceito de simplicidade da “navalha de Ockham”.

⁷⁰ DANERI, A.; LOINGER, A. & PROSPERI, G.M. (1962), “Quantum theory of measurement and ergodicity conditions”, *Nuclear Physics* 33, 297-319. Republicado em WHEELER & ZUREK (1983), op. cit. (nota 15), pp. 657-79. O argumento mencionado está em TAUSK, K. (1966), “Relation of measurement with ergodicity, macroscopic systems, information and conservation laws”, *International Atomic Energy Agency Internal Report 14/1966*, Trieste (ver pp. 22-23), e foi incorporado por JAUCH, J.M.; WIGNER, E.P. & YANASE, M.M. (1967), “Some comments concerning measurements in quantum mechanics”, *Il Nuovo Cimento* 48 B, 144-51 (ver p. 150). Para um estudo histórico do “caso Tausk”, ver: PESSOA JR, O.; FREIRE JR., O. & DE GRAEFF, A. (2008): “The Tausk controversy on the foundations of quantum mechanics: physics, philosophy, and politics”, *Physics in Perspective* 10(2), pp. 138-62. LOINGER, A. (1968), “Comments on a recent paper concerning measurements in quantum mechanics”, *Nuclear Physics* 108: 245-9.

⁷¹ EVERETT III, H. (1957), “Relative state formulation of quantum mechanics”, *Reviews of Modern Physics* 29, 454-62, reimpresso em WHEELER & ZUREK, op. cit. (nota 15), pp. 315-23. Ver discussão in JAMMER (1974), op.cit. (nota 8), pp. 507-16, e o influente artigo de DEWITT, B.S. (1970), “Quantum mechanics and reality”, *Physics Today* 23 (setembro), 30-5, de onde os gatos da Fig. IX.3 foram copiados. Os artigos de Everett e DeWitt, assim como a tese de doutorado de Everett, estão na coletânea DEWITT, B. & GRAHAM, N. (orgs.) (1973), *The many-worlds interpretation of quantum mechanics*, Princeton University Press. Para a distinção entre as interpretações dos estados relativos e a dos muitos mundos, ver BEN-DOV, Y. (1990), “Everett’s theory and the ‘many-worlds’ interpretation”, *American Journal of Physics* 58, pp. 829-32. Para um estudo histórico, ver OSNAGHI, S.; FREITAS, F. & FREIRE JR. O. (2009), “The origin of the Everettian heresy”, *Studies in History and Philosophy of Modern Physics* 40: 97-123.

A crítica que talvez seja a mais relevante é de natureza epistemológica.⁷² Qual é a evidência empírica que sustenta a teoria quântica dos estados puros (ou seja, deixando de lado o formalismo dos operadores de densidade)? São experimentos realizados em sistemas microscópicos, com *um* objeto quântico em superposição ou com *poucos* objetos emaranhadas. É este domínio de aplicação que corroborou a teoria quântica, incluindo o postulado da projeção que descreve a redução de estado. Qual seria então a justificativa para que a interpretação dos muitos mundos estendesse a teoria para o universo como um todo? Ou seja, qual a justificativa para sustentar que a teoria quântica (de estados puros) é universal? É lícito pretender que a teoria quântica (de estados puros) se aplique a todos os corpos do universo, só porque ela é a melhor teoria disponível para o domínio restrito de sistemas microscópicos?

Em 1973, uma versão um pouco diferente, chamada interpretação dos “muitos mundos”, foi divulgada por Bryce DeWitt, que considerou que os diferentes ramos seriam na verdade diferentes mundos, ou Universos paralelos. A diferença entre a visão de Everett e a de DeWitt é que, para o primeiro, haveria apenas um único Universo, de comportamento completamente quântico, ao passo que o segundo imaginava cada ramo como um Universo clássico diferente.

5. Interpretação Ondulatória das Localizações Estocásticas

Além da interpretação dos estados relativos, há uma outra família de interpretações ondulatórias realistas que postula que colapsos ou “localizações” acontecem espontaneamente (por acaso). A proposta original desta ideia é conhecida pela sigla GRW, referente aos italianos Gian Carlo Ghirardi, Alberto Rimini e Tullio Weber.⁷³ Eles supuseram que qualquer sistema quântico tem uma probabilidade muito pequena de sofrer uma *localização espontânea*. Para sistemas de poucas partículas tal localização ocorreria muito raramente, e praticamente não violaria a equação de Schrödinger. Para um sistema macroscópico, no entanto, composto de um grande número de partículas emaranhadas, tal colapso espontâneo ocorreria frequentemente. Isso explicaria porque a redução só ocorre quando um aparelho *macroscópico* se acopla ao objeto quântico.

Dentro deste paradigma, outra abordagem é a de introduzir uma correção estocástica à equação de Schrödinger, sem se preocupar com a origem física de tal “ruído branco”. Tais *modelos dinâmicos de redução*, como a de Philip Pearle, aliam-se à abordagem da localização espontânea e procuraram tratar do domínio relativístico. Uma crítica geral a esses modelos é que eles seriam “ad hoc”, ou seja, só explicariam aquele fenômeno para o qual foram elaborados. Nesta linha, pode-se também criticar a hipótese da localização espontânea pelo fato de ela introduzir uma constante universal adicional (a frequência de colapsos) ao pequeno conjunto de constantes universais da física.

⁷² SHIMONY, A. (1986), “Events and processes in the quantum world”, in Penrose, R. & Isham, C.J. (orgs.), *Quantum concepts in space and time*, Oxford University Press, New York, pp. 182-203; ver pp. 201-2. Outras críticas são discutidas por BARRETT, J.A. (1999), *The quantum mechanics of minds and worlds*, Oxford University Press, pp. 154-79.

⁷³ GHIRARDI, G.C.; RIMINI, A. & WEBER, T. (1986), “Unified dynamics for microscopic and macroscopic systems”, *Physical Review D* 34: 470-91. PEARLE, P. (1986), “Models for reduction”, in Penrose & Isham (1986), op. cit. (nota 72), pp. 84-108. Ver também GISIN, N. & PERCIVAL, I.C. (1992), “Wave-function approach to dissipative processes: are there quantum jumps?”, *Physics Letters A* 167: 315-18.

6. Problema da Medição como um Pseudoproblema

Para muitos autores, preocupados com o processo de medição em Mecânica Quântica, *não existe o problema da medição*. Esta opinião é compartilhada pelos proponentes da interpretação dos coletivos estatísticos (ver seção V.5, item 2), e por aqueles que têm uma visão instrumentalista da teoria quântica. Segundo essas visões, a Teoria Quântica seria exclusivamente uma teoria sobre a estatística de resultados de medições, e não sobre propriedades intrínsecas de objetos físicos. Essa posição leva a uma rejeição do conceito de colapso de estado, e o problema da medição não se colocaria. Um outro ponto de vista é de que o problema da medição não se colocaria na “representação de Heisenberg”. Nesta representação, o estado apenas muda quando se adquire informação a respeito do sistema, após uma medição. Evolução unitária (dinâmica) e postulado da projeção (conhecimento) ficariam assim claramente distinguidos, não havendo um problema da medição.⁷⁴

Em uma pesquisa realizada em 2013 entre os participantes de um conferência sobre Fundamentos da Física Quântica, 27% consideraram que o problema da medição é um pseudoproblema, e tais opiniões estavam associadas a uma simpatia pela interpretação da complementaridade e por interpretações da teoria quântica baseada na teoria da informação. Analisando esses resultados em termos da divisão feita aqui, 30% defenderam uma posição objetivista (seção IX.3, incluindo soluções por decoerência), 6% uma posição subjetivista (seção IX.2) e 18% a abordagem dos muitos mundos (incluindo estados relativos) (seção IX.3).⁷⁵

7. O Paradoxo do Laboratório Fechado

Vimos na seção VI.2 que um sistema “fechado” evolui de maneira linear, contínua, reversível e determinista, de acordo com a equação de Schrödinger (evolução unitária). Porém, durante uma medição, o sistema em questão deixa de estar fechado, já que informação é passada para o aparelho de medição. O colapso que acompanha a medição é descrito pelo postulado da projeção de von Neumann, que descreve uma evolução de estados que se dá de maneira não-linear, praticamente instantânea e descontínua, irreversível e não-determinista. Esses dois tipos de evolução temporal são opostos, e em certas situações parecem contraditórios.

Imagine um sistema fechado composto pelo objeto microscópico, pelo aparelho de medição, pelo cientista e pelo laboratório que os cerca (Fig. IX.2). Sendo um sistema fechado, ele deve evoluir como um todo de maneira determinista e contínua. No entanto, o cientista está fazendo medições, e portanto estão ocorrendo colapsos e transições indeterministas. Como é possível que um sistema evoluindo determinista e continuamente também tenha transições abruptas e aleatórias? Esta situação aparentemente contraditória é uma formulação possível do problema da medição.⁷⁶

A contradição que acabamos de exibir se baseia em duas suposições: (1) um estado quântico pode ser atribuído ao aparelho de medição macroscópico; (2) o sistema quântico composto (objeto e aparelho) pode ser considerado fechado em relação ao meio ambiente,

⁷⁴ A posição instrumentalista aparece em PARK, J.L. (1973), “The self-contradictory foundations of formalistic quantum measurement theories”, *International Journal of Theoretical Physics* 8: 211-18. Sobre o argumento da representação de Heisenberg, ver UNRUH, W.G. (1986), “Quantum measurement”, in Greenberger, D.M. (org.), *New techniques and ideas in quantum measurement theory, Annals of the New York Academy of Sciences* 480: 512-17.

⁷⁵ SCHLOSSHAUER, M.; KOFLER, J. & ZEILINGER, A. (2013), “A snapshot of foundational attitudes toward quantum mechanics”, *Studies in the History and Philosophy of Modern Physics* 44: 222-230.

⁷⁶ O que denominamos “paradoxo do laboratório fechado” aparece em EVERETT (1957), op. cit. (nota 71), p. 454.

evoluindo assim de maneira “unitária” (ou seja, linear, contínua etc.). Sob essas condições, o problema da medição é a questão de como conciliar a transição indeterminista de estados do objeto, que ocorre durante uma medição, com a evolução determinista do estado composto pelo objeto e aparelho de medição.

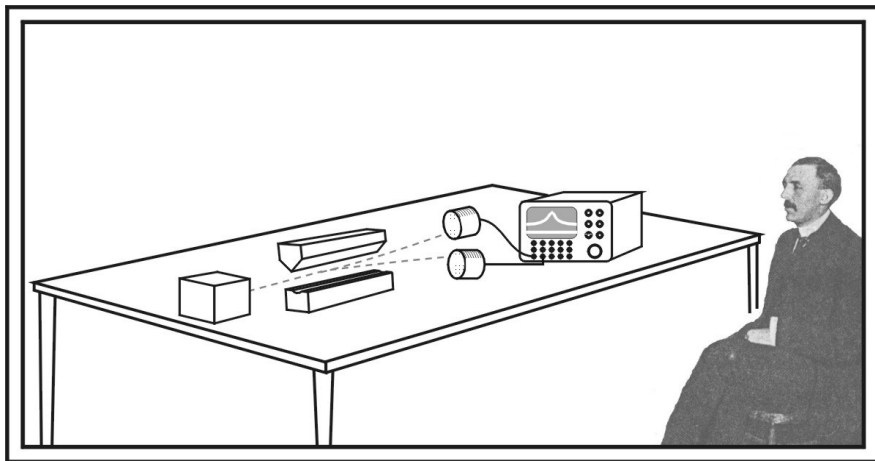


Figura IX.2:
Paradoxo do
laboratório
fechado.

A primeira suposição viola o que chamaremos a tese da “língua clássica” da interpretação da complementaridade (seção XIII.2), segundo a qual o aparelho de medição tem que ser tratado de maneira clássica, e não quântica. Assim, esse enunciado do problema da medição não se coloca nesta interpretação. Quanto à segunda suposição, ela não é satisfeita na prática, e talvez não seja nem em princípio: argumenta-se que um corpo macroscópico nunca pode ser completamente isolado do ambiente (por exemplo, da radiação de fundo do universo). A rejeição da suposição (2) constitui a base de uma das “soluções” propostas ao problema da medição, como veremos mais para frente.

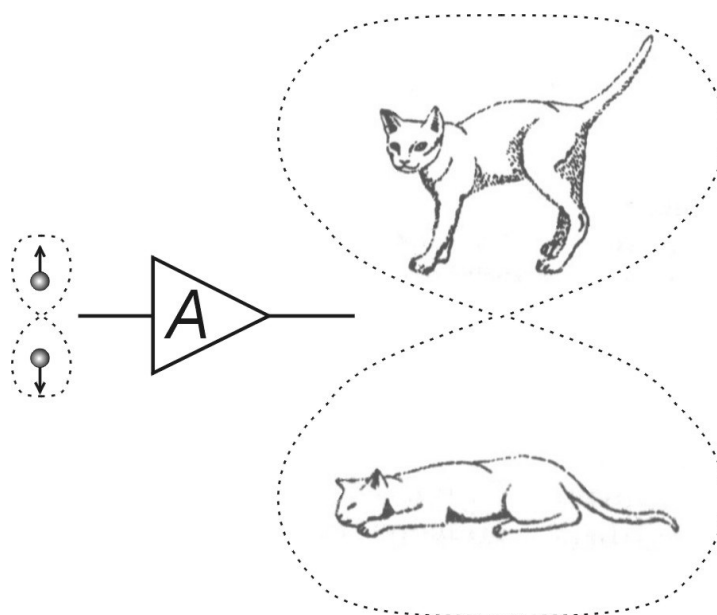
8. O Gato de Schrödinger

Em um estudo do argumento de Einstein, Podolsky & Rosen (que veremos mais para frente) em favor da incompletude da teoria quântica, Schrödinger⁷⁷ apresentou seu experimento mental do “paradoxo do gato”, que é a formulação mais famosa do que chamamos problema da caracterização. Um gato é fechado dentro de uma câmara de aço junto com um pouquinho de uma substância radioativa, que tem uma probabilidade $\frac{1}{2}$ de acionar um detector, dentro de um certo intervalo de tempo (Fig. IX.3). Ligado a este detector há um “dispositivo diabólico” que funcionava de tal maneira que se o detector fosse disparado, o gato seria morto, enquanto que ele permaneceria vivo se nenhuma radiação fosse detectada no intervalo de tempo. A Mecânica Quântica descreve o estado do átomo radioativo como uma *superposição* de estados de emissão e de não-emissão.⁷⁸ Qual seria o estado do sistema macroscópico como um todo ao final do intervalo de tempo?

⁷⁷ SCHRÖDINGER, E. (1935), “Die gegenwärtige Situation in der Quantenmechanik”, *Die Naturwissenschaften* 23, 807-812, 823-828, 844-849. Tradução em inglês: “The present situation in quantum mechanics. A translation of Schrödinger’s ‘cat paradox’ paper”, in WHEELER & ZUREK (1983), op.cit. (nota 15), pp. 152-167. Ver pp. 156-7.

⁷⁸ Superposições deste tipo aparecem no efeito Zenão quântico, ver eq. VIII.1. O exemplo dado por Schrödinger poderia ser simplificado considerando-se probabilidades que não dependam da escolha de um intervalo de tempo, o que facilitaria a compreensão do paradoxo do gato.

Figura IX.3. Paradoxo do gato de Schrödinger.



Nos anos 1930 a visão subjetivista ou mentalista (seção IX.2), que defende que o colapso só ocorre quando um ser consciente observa o objeto quântico, era bastante difundida. De acordo com esta visão, o estado final no experimento mental de Schrödinger seria uma superposição de gato vivo e morto, enquanto nenhuma observação fosse feita. Somente quando um ser consciente abrisse a caixa e observasse o gato é que ocorreria um colapso do estado, ou para gato vivo, ou para gato morto. Esta solução porém soa absurda, já que nossa noção intuitiva de um objeto clássico é que ele não existe em tais superposições e que seu estado macroscópico não é afetado pelo ato de observação.

Schrödinger elaborou seu experimento-de-pensamento como um argumento para a incompletude da Mecânica Quântica. Schrödinger tinha a esperança de que tais “antinomias de emaranhamento” poderiam ser resolvidas definindo-se de maneira apropriada um *operador de tempo*.⁷⁹

⁷⁹ Ver *Conceitos de física quântica*, vol. 1, seção XII.2.