

O massacre do gato de Schroedinger

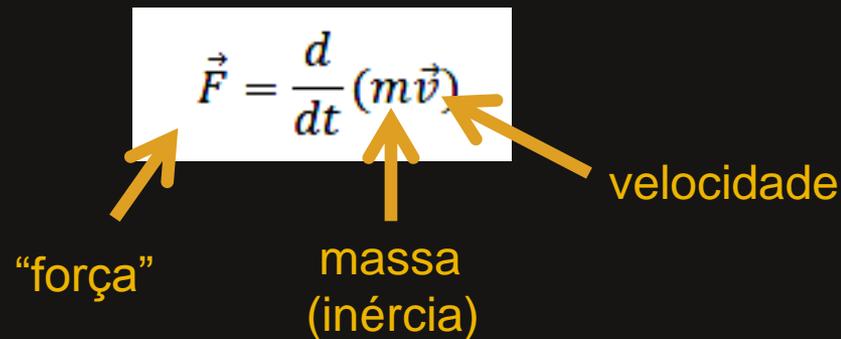
J.E. Horvath

Astronomia IAG-USP



O que descreve uma teoria física?

O problema da *interpretação*



The diagram shows the equation $\vec{F} = \frac{d}{dt}(m\vec{v})$ enclosed in a white rectangular box. Three orange arrows point from text labels below to parts of the equation: one from "força" to the vector \vec{F} , one from "massa (inércia)" to the mass m , and one from "velocidade" to the vector \vec{v} .

$$\vec{F} = \frac{d}{dt}(m\vec{v})$$

“força” massa (inércia) velocidade

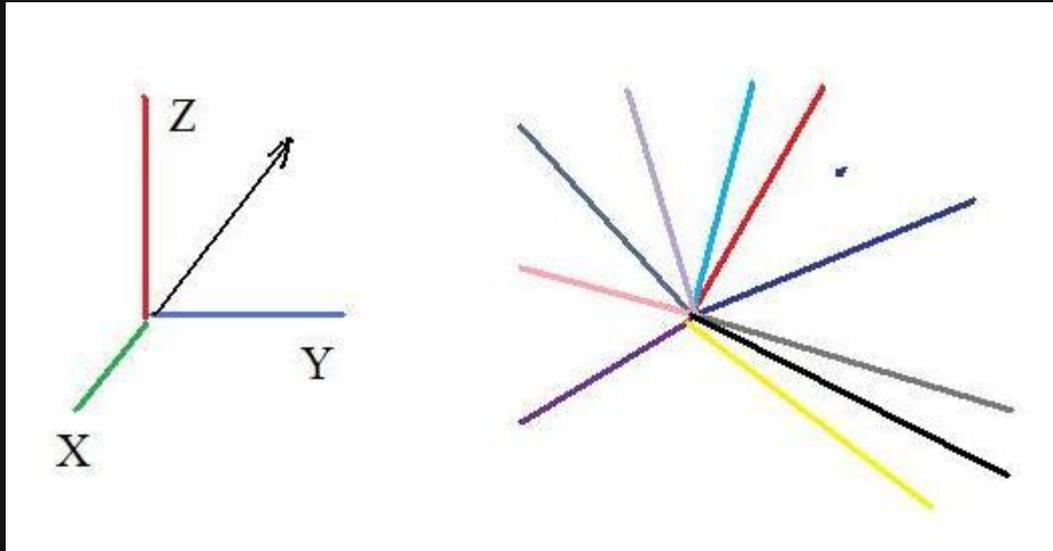
A chamada “interpretação” é consensual, sem disputas

Implicitamente admitimos que estamos descrevendo uma Realidade objetiva, independente do Observador.

Os postulados da Mecânica Quântica

Na MQ, as variáveis adotam um caráter diferente. E a descrição começa por ter como pano de fundo o espaço dos estados do sistema é um espaço de Hilbert (∞ -dimensional) abstracto: tudo está aí, embutido na $|\psi\rangle$.

Espaço vetorial de
N-dimensões



Espaço de Hilbert

Para cada quantidade mensurável \exists um operador (que atua no espaço de Hilbert encima das $|\psi\rangle$) hermitiano. Os resultados das medidas são os autovalores de \hat{Q} , e as probabilidades de medir um valor dado são calculadas usando o produto interno “.”

Interpretação de Born: o quadrado da $|\psi\rangle$ é a probabilidade de encontrar o sistema em um estado dado

A evolução do sistema está determinada pelas soluções de

$$\hat{H}|\psi\rangle = i\hbar \frac{\partial}{\partial t} |\psi\rangle$$

Hamiltoniano
= energia

A equação é do tipo difusão,
mas com um tempo “imaginário”

A evolução temporal é

$$|\psi\rangle = \sum_n a_n |\psi_n\rangle e^{-iE_n t/\hbar}$$

Uma medida qualquer só
pode dar como resultado
um destes autovalores

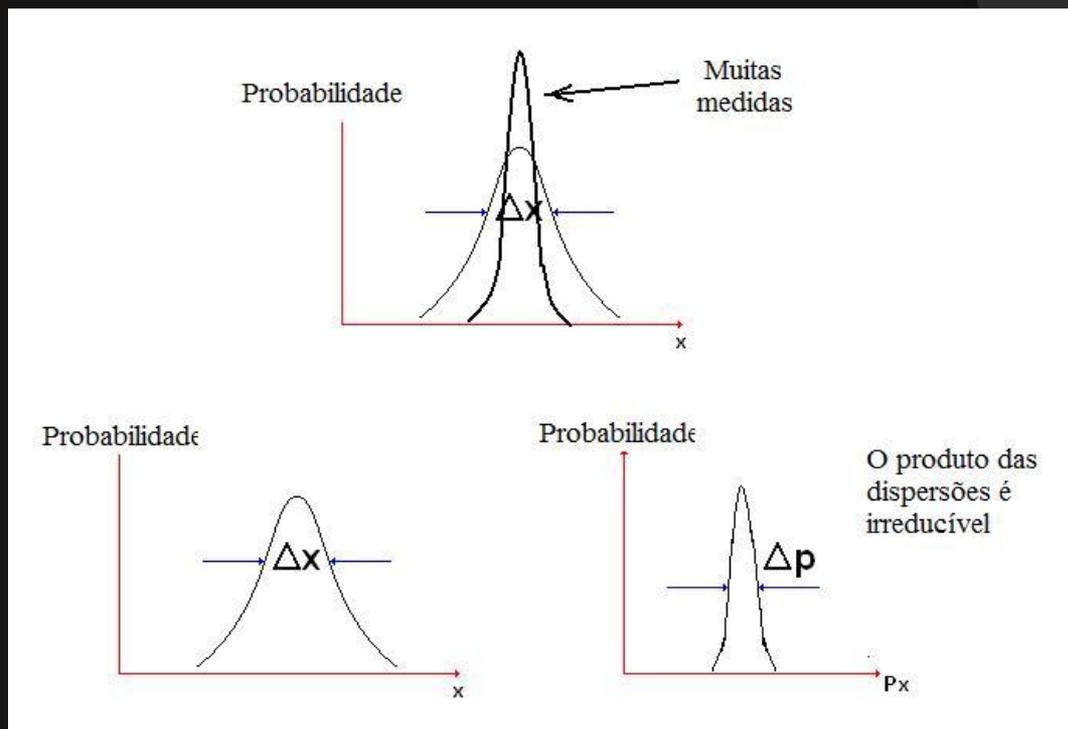
Se p, q são variáveis conjugadas, então

$$[\hat{p}, \hat{q}] = \hbar/i$$



$$\Delta x \Delta p \geq \hbar$$

Isto decorre d' álgebra do espaço de Hilbert, não precisa de nenhum dado empírico !!!



Quando efetuada uma medida concreta, $|\psi\rangle$ colapsa como resultado da interação sistema-aparelho...(sem que ninguém haja arriscado seriamente a descrever cómo é que isto acontece...)

As medidas são expressáveis somente em termos clássicos
(Princípio de correspondência de Bohr)

Confusão, dogmatismo e obscuridade

- Em qualquer teoria física, você mede e compara com a predição, na MQ você aceita que vai medir um dos valores pre-definidos (autovalores)
somos obrigados a aceitar enunciados tais como:
“Se o sistema está num autoestado do seu *observável* A , correspondente ao autovalor a , um *observador* que meça A obterá *certamente* o valor a ”
- O processo da medida é considerado a fonte de irreversibilidade, mas nunca entra no cálculo, mais ainda, o Observador não aparece em lugar nenhum
- * A Realidade é considerada “metafísica”, não só não tem existência, é perigoso pensar nela !! No-go

Idealismo (subjetivismo)
de Bohr et al

O ato de medir cria o resultado



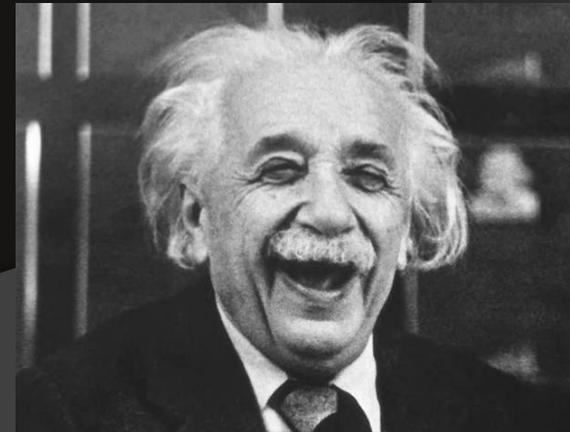
Operacionalismo
(ensinado nos cursos)

“Na verdade nunca entendemos
o que acontece, simplesmente nos
acostumamos...”

Prof. (Emérito) H. Fanchiotti, UNLP

*“você realmente acredita que a Lua
não está aí quando ninguém a está
olhando:?”*

A. Einstein a um colega de Princeton





Átomo no estado $\alpha |0\rangle + \beta |1\rangle$,
uma transição acontece com probabilidade $\propto |\beta|^2$

Mas tratando todo o conjunto gato+caixa+veneno com a MQ..

$\alpha |0\rangle + \beta |1\rangle \otimes |gato\ vivo\rangle + |gato\ morto\rangle$



Reductio ad absurdum segundo Schrodinger, Einstein e outros

Einstein e muitos outros defenderam que havia algo de errado, ou ao menos incompleto com a MQ

Nunca aceitaram que somente as probabilidades fossem calculáveis, nem que o “pulo” do quantum entre estados fosse incognoscível etc. etc.

Mas, o que quer dizer a MQ então?

Qual é sua “interpretação”? (já que é necessário encontrar uma...)

Interpretações diagramas

Natureza e existência (ontologia) da Realidade Quântica :
Valores definidos cujos erros $\rightarrow 0$ vs. Probabilidades de autovalores de operadores

A separação entre o

(S) O sujeito (observador) que experimenta o mundo

(R) Realidade (objetiva) a ser apreendida pelo sujeito através da análise e observação dos *fenômenos*

Para nos, a separação é tão evidente quem nunca é mencionada, já para outros modos de pensar é impossível

O problema da interfase (epistemologia)

? Booleana (Aristóteles), projetiva ou qual?

- Lógica
- Álgebra para manipular objetos básicos ($|\psi\rangle$, etc.) e obter previsões
- Linguagem (formal ou informal)

SEMÁNTICA

“se p , então p ou q ”

“se chover, então estaremos molhados ou o Corinthians será campeão”

“se a eq. de Schroedinger é válida, então o sistema evolui seguindo-a e não há nenhuma realidade subjacente”

A separação entre o

(S) O sujeito (observador) que experimenta o mundo

(R) Realidade (objetiva) a ser apreendida pelo sujeito através da análise e observação dos *fenômenos*

A *Ontologia* é representada por uma *elipse* que inclui os objetos existentes conforme cada interpretação.

Pôde ser **clássica** (valores definidos das quantidades físicas) ou **quântica** (inexistência de valores para as quantidades físicas), ou até mesmo **não existir** dentro da interpretação.

A *Epistemologia* (flechas horizontais): conjunto de ferramentas empíricas (experiências) e formais (álgebra e linguagem), para uma *lógica* assumida, com os quais pretende-se conhecer os fenômenos (e a RQ diretamente?), chamados genericamente de **medidas**. Limitação fisiológica/lingüística humana discutida por Wittgenstein da origem a um *filtro W*, explicitamente indicado.

O caso da Mecânica Quântica

1. A ortodoxia atual (Copenhagen), versão “final”

Ontologia clássica



Não existe nenhuma “Realidade Quântica” concreta, os objetos e suas propriedades não têm valores definidos (não existem!) antes de serem medidos

- O ato de medir cria a “realidade”, isto é, *define* o tipo de fenômeno medido
- O sujeito os aparelhos de medida e os resultados são expressáveis em termos clássicos
- * A Lógica da MQ é aristotélica (Booleana), mas os resultados obtidos refletem a natureza probabilística do fenômeno.

* A MQ é uma teoria que diz quanto podemos dizer dos objetos (**epistemológica**)

O caso da Mecânica Quântica (cont.)

2. A realidade é não-local (de Broglie-Bohm et al.)

Experimentos e desigualdade de Bell

Ontologia “clássica” (*entanglement !!!*)



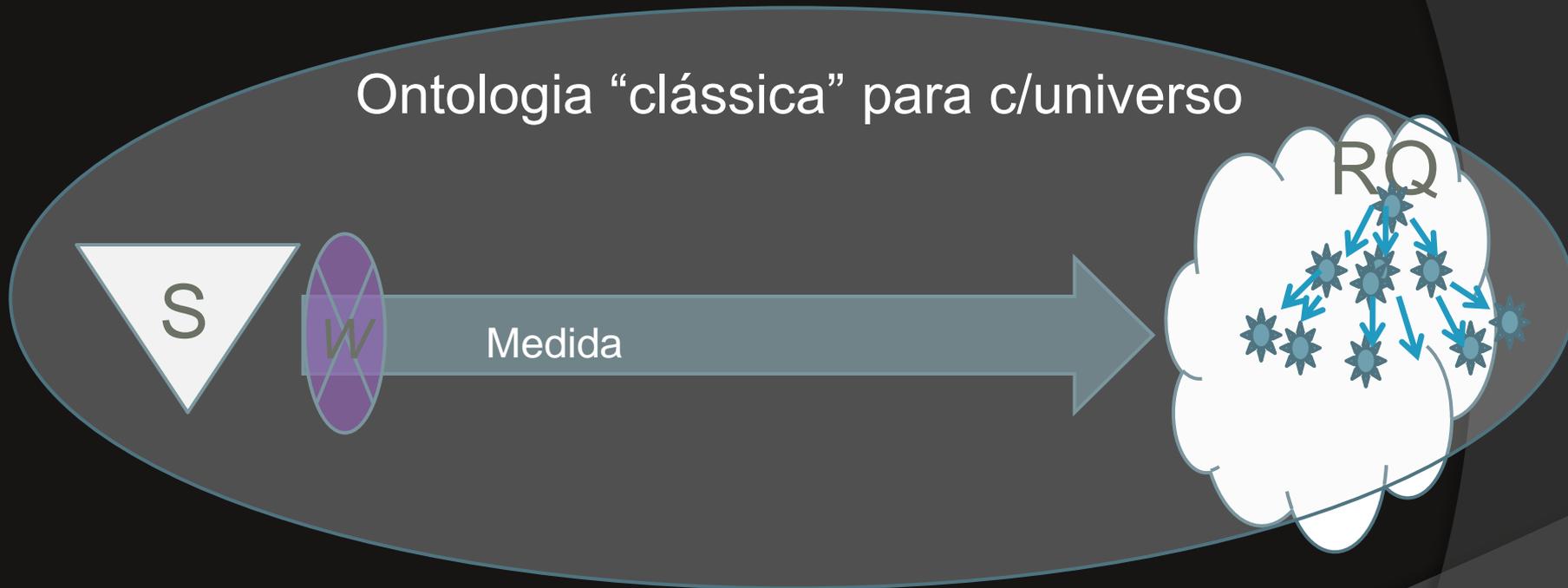
- A “Realidade Quântica”, os objetos e suas propriedades, os fenômenos medidos e o próprio Sujeito não podem ser separados, quando medidos os objetos guardam memória de sua história espaço-temporal (*phase entanglement*). O Universo inteiro é um Todo indivisível (ou seja, extremamente não-local).
- As partículas “cavalgam” nas wavefunctions, mas permanecem ocultas (*hidden variables*) sem influenciá-las (*ergo*, são supérfluas?)

O caso da Mecânica Quântica (cont.)

3. A interpretação dos *many-worlds* (H. Everett)

Ou – O Jardim dos Caminhos que se Bifurcam, por J.L.Borges-

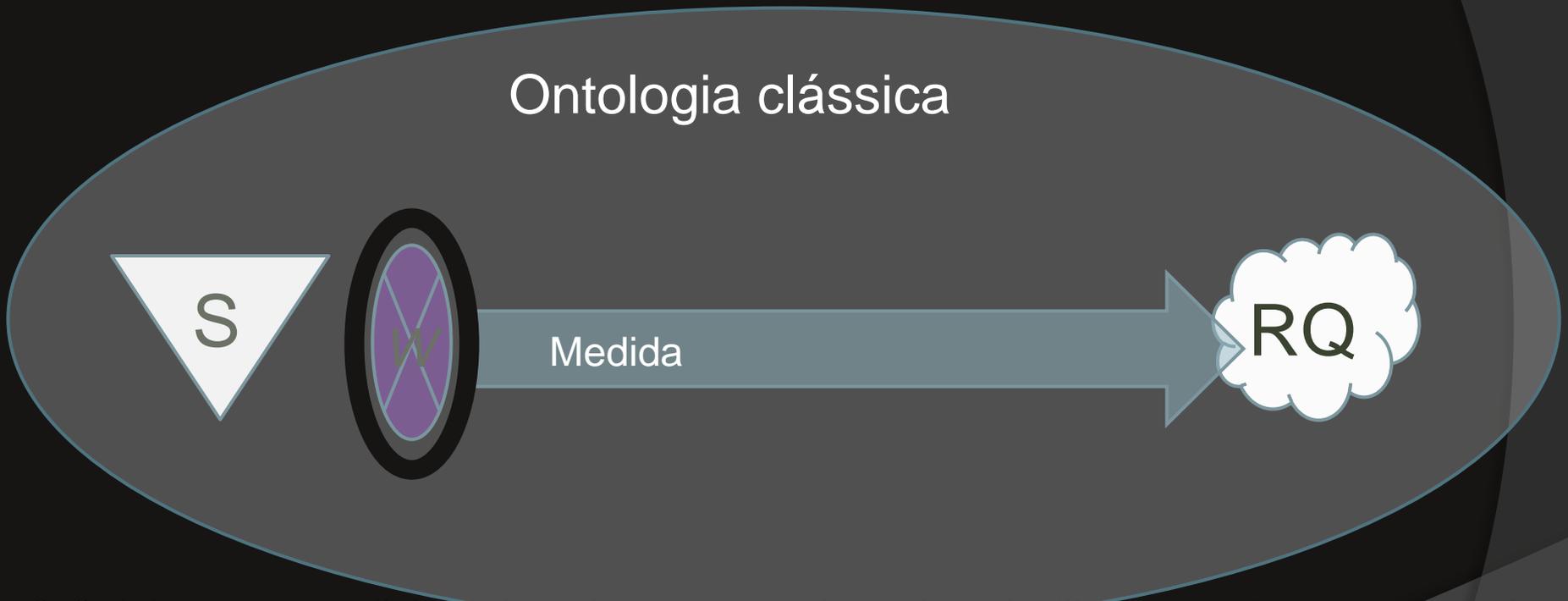
Ontologia “clássica” para c/universo



- A “Realidade Quântica” é a de um conjunto de sistemas disjuncto *no tempo*, os objetos quânticos se “bifurcam” para cada possível resultado de uma medida e seguem existindo *nos seus próprios universos paralelos (que são reais!)*. Cada medida corresponde a uma das possibilidades, e não há nenhum “colapso da função de onda”

O caso da Mecânica Quântica (cont.)

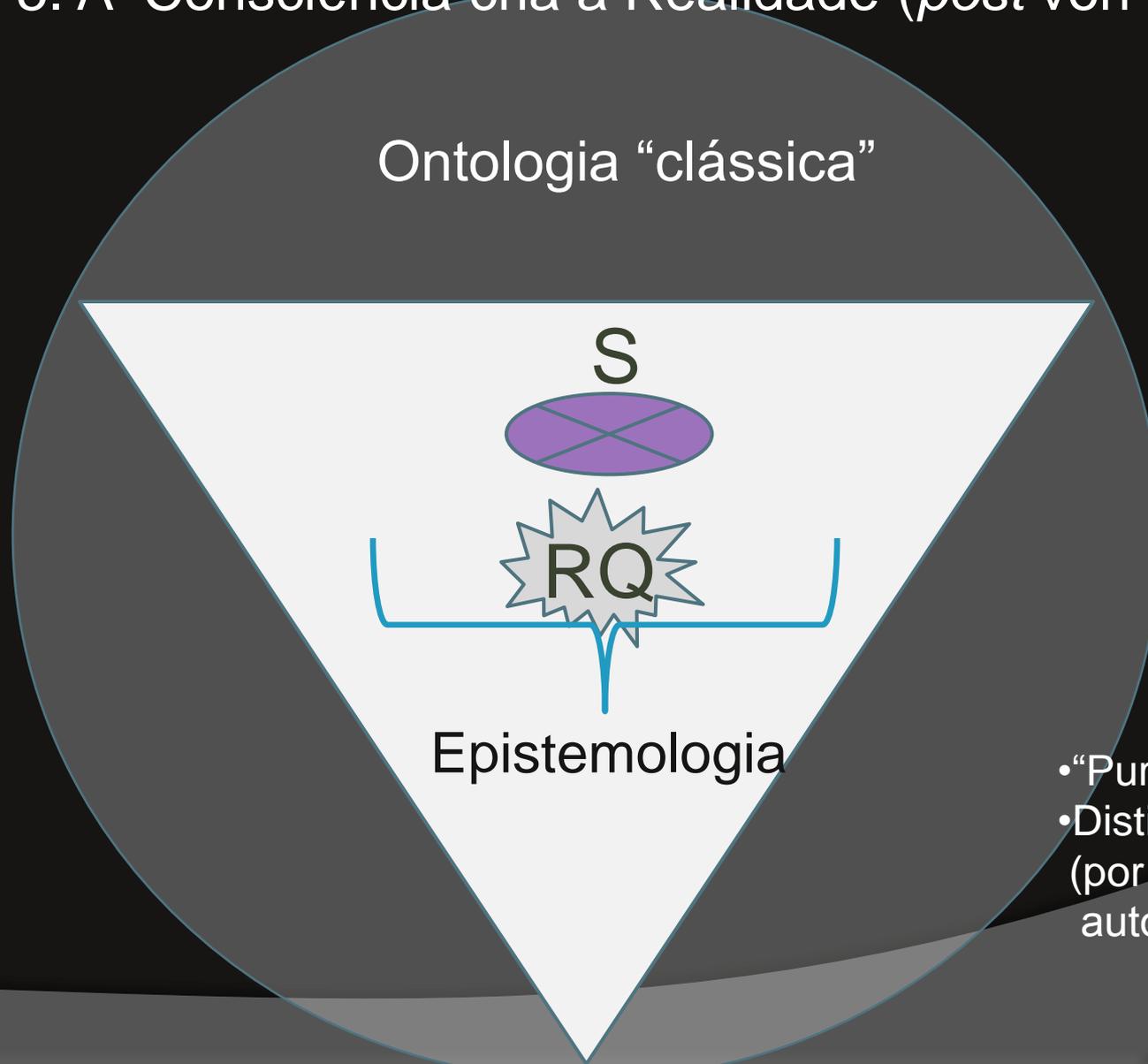
4. A Logica Quântica (Birkhoff- von Neumann)



- O Sujeito está condicionado pela estrutura do raciocínio (linguagem) , representado pelos silogismos aristotélicos, mas a MQ *não segue* estes últimos. Os problemas se originam então no *filtro de Wittgenstein* que conecta os resultados da medida com o Sujeito (Observador)

O caso da Mecânica Quântica (cont.)

5. A Consciência cria a Realidade (post von Neumann-Wigner)



- “Puro” idealismo de Berkeley
- Distinção entre “Observador” (por exemplo, um leitor automático) e “Consciência” ?

O caso da Mecânica Quântica (cont.)

6. A *potentia* de Heisenberg

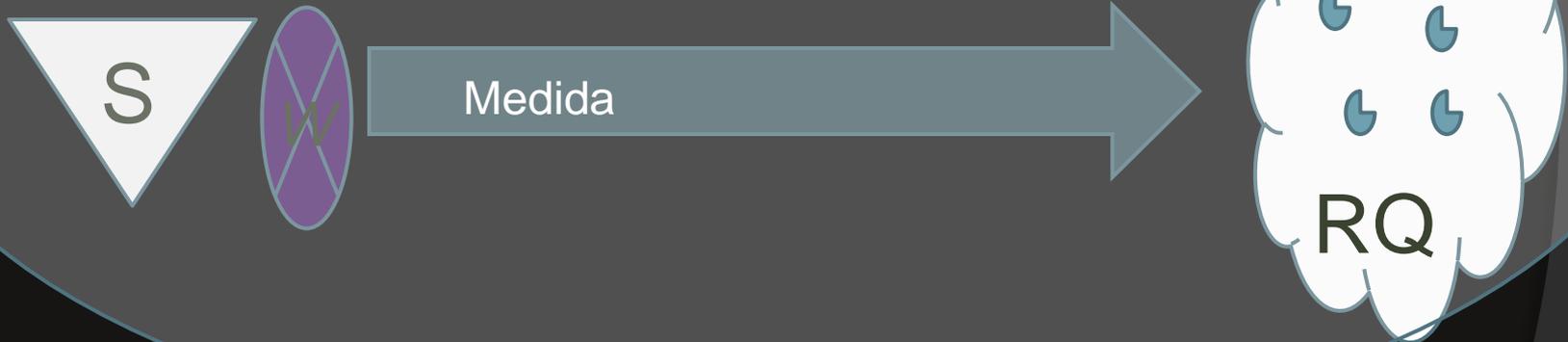


- Os objetos da “Realidade Quântica” existem de certa forma a “meio-caminho” entre a RQ e os fenômenos, em uma espécie de limbo chamado de *potentia* por Heisenberg
- O ato de medir define o tipo de fenômeno medido, retirando o resultado do mundo da *potentia* P

O caso da Mecânica Quântica (cont.)

7. A interpretação estatística (Born-Einstein)

Ontologia “clássica”

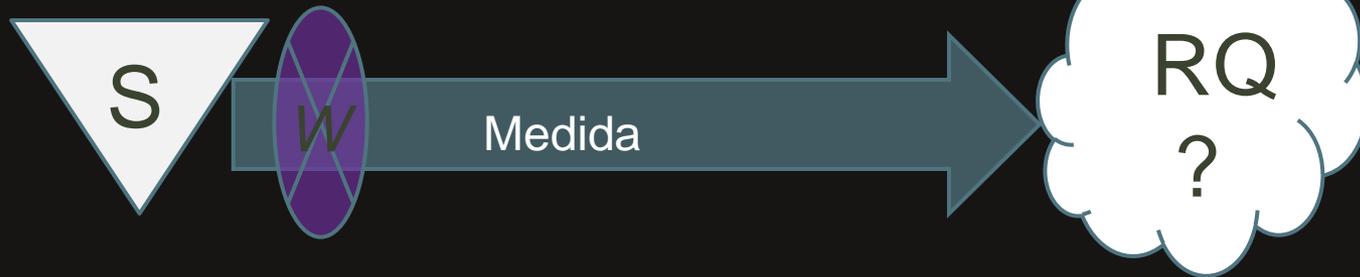


- A descrição quântica não é aplicável a um **objeto individual**, mas a um *ensemble* de objetos (não confundir com a interpretação de Everett). A função de onda contém informação a respeito das probabilidades de medir os valores permitidos das propriedades físicas dos objetos do *ensemble*
- Esta interpretação é “mínima” nas suposições, e constitui um marco de ordem zero para resolver os problemas conhecidos da MQ

O caso da Mecânica Quântica (cont.)

8. Instrumentalismo

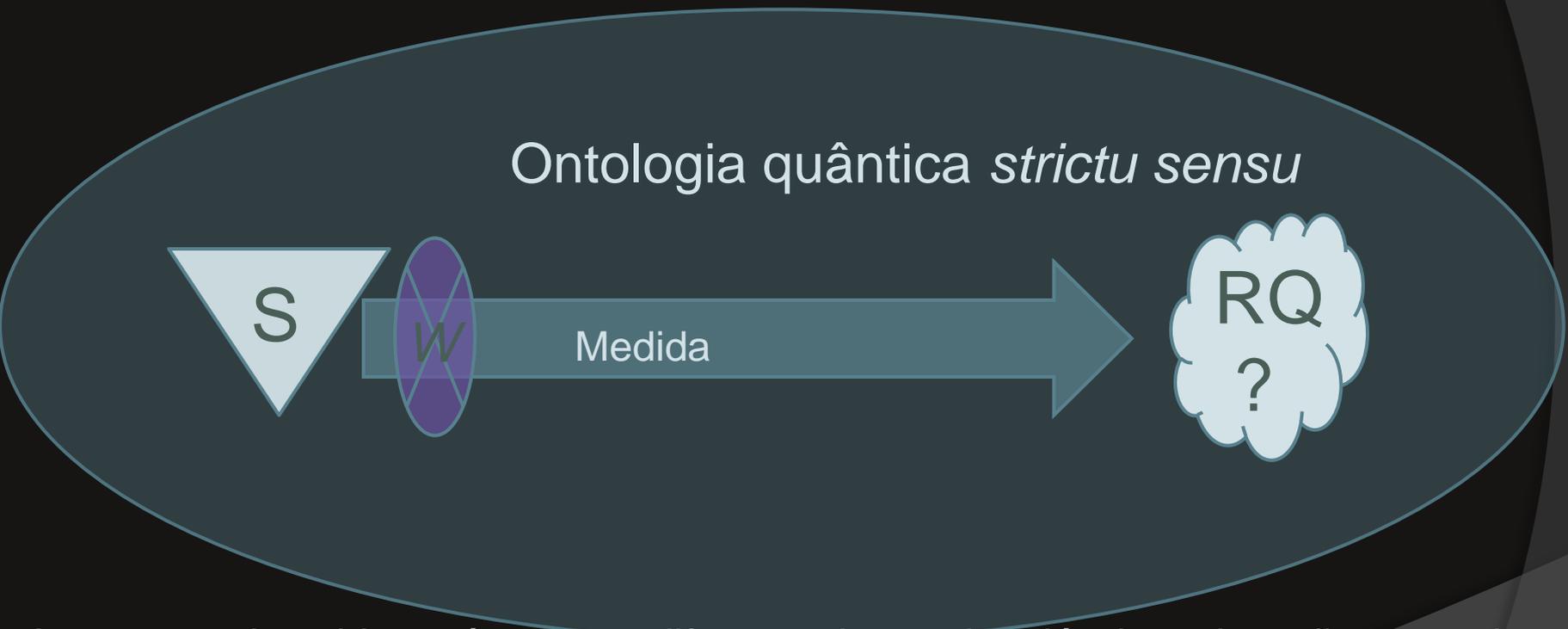
(Ontologia inexistente
ou não especificada)



- A descrição quântica é um *conjunto de regras de cálculo*, sem qualquer pretensão ontológica, ou seja, renuncia ao *logos* da Realidade Quântica explicitamente e se concentra na linguagem que conecta o Sujeito com os resultados dos experimentos.
- Seu domínio é o conjunto Medida-filtro de Wittgenstein (este último entendido e estendido ao formalismo matemático)

O caso da Mecânica Quântica (cont.)

9. Quons et al. (Bunge)



- A natureza dos objetos é suposta diferente do quadro clássico: eles *não tem valores definidos (mas existem!)* para um instante qualquer, o formalismo quântico permite calcular os valores esperados para *uma* medida. Mas não há nada de idealista/místico nisso, é somente a correção da “extrapolação” feita anteriormente do mundo clássico para o quântico, feita no nível ontológico.

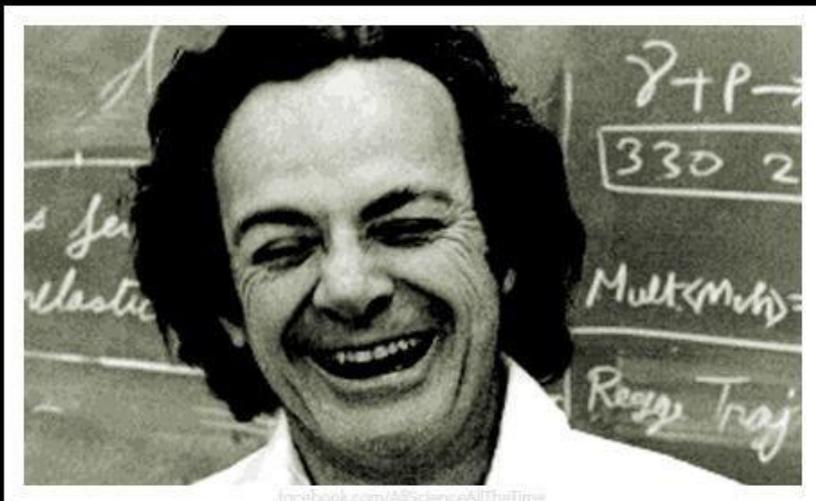
Algumas interpretações da MQ podem restituir uma Realidade objetiva (por exemplo, os quons), mas há um preço a pagar aceitando que posição, velocidade etc. não têm valores definidos até que são medidos

O gato de Schroedinger está vivo e morto até que abrimos a caixa... Será $|\psi\rangle$ uma onda de “informação”?

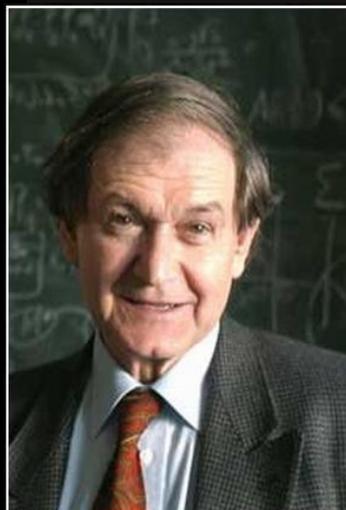
Existe evidência nos experimentos de Aspect, Bell e outros para uma Realidade não local . O universo físico pode ser indivisível

As teorias com variáveis ocultas do tipo determinístico não são viáveis, muito apesar de Einstein e sua turma

Importantes chaves a respeito de tudo isto se escondem no processo de medida irreversível, o qual não conta com nenhuma descrição quantitativa satisfatória



"Anyone who claims to understand quantum theory is either lying or crazy!"
-Richard Feynman



Quantum mechanics makes
absolutely no sense.

— Roger Penrose —

AZ QUOTES

Resumo superenxuto do seminário:

A Mecânica Quântica é simples: você pega um gato, o encerra numa caixa junto com um vidro de veneno e põe radioatividade dentro, sem esquecer de levar umas luvas para se defender caso o bicho saia meio vivo...

(Algumas) referências

- N. Herbert, *Quantum reality* (Anchor Books, NY, 1987)
- Z. Schreiber, *The Nine Lives of Schroedinger`s Cat*, quant-ph\9501014 (1995)
- M. Bunge, *Física e Filosofia*, (Ed. Perspectiva, 1992)
- N. Pinto Neto, *Teorias e Interpretações da Mecânica Quântica*, (Ed. Livraria da Física, 2010)
- * O. Pessoa Jr. *Conceitos de Física Quântica Vol. I e II* (Ed. Livraria da Física 2006)